



Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada. Documentación de la metodología para el tratamiento de la información. Verificación del desempeño de un modelo regional de pronóstico de precipitación

Marino, Mónica Beatriz

2007

Tesis Doctoral

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

www.digital.bl.fcen.uba.ar

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Fuente / source:

Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos

**Variabilidad de la precipitación en Argentina en
diferentes escalas temporales, relacionada con
actividad convectiva observada**

**Documentación de la metodología para el
tratamiento de la información.**

**Verificación del desempeño de un modelo
regional de pronóstico de precipitación.**

Lic. Mónica Beatriz Marino

**Trabajo de Tesis Doctoral para aspirar al título de
Doctor de la Universidad de Buenos Aires**

Director:
Dr. Héctor Horacio Ciappesoni

Año 2007

A Franco, Gastón y Dante

Aunque sientas el cansancio
Aunque la ingratitud sea la paga
Aunque el tiempo te abandone
Aunque un error te lastime
Aunque una traición te hiera
Aunque una ilusión se apague
Aunque el dolor queme tus ojos
Aunque ignoren tus esfuerzos
Aunque la incomprensión corte tu risa

Vuelve a empezar

Cecilia Prezioso

Agradecimientos

A la Universidad de Buenos Aires y al Departamento de Ciencias de la Atmósfera, con su cuerpo de profesores, le agradezco por cobijarme, enseñarme y acompañarme durante mis estudios en la carrera de la Licenciatura en Meteorología y ahora en el Doctorado en Ciencias de la Atmósfera.

Al Servicio Meteorológico Nacional, mi casa, lo reconozco por permitirme usar sus instalaciones, sus medios y los datos necesarios para realizar esta Tesis.

A mi Director y compañero de caminos, el Dr. Héctor H. Ciappesoni le doy las gracias por aceptar dirigir esta Tesis y por su paciencia con mis ansiedades.

Agradezco a la Dra. Matilde Nicolini por ayudarme voluntariamente en el Plan de Tesis.

A la Doctora Susana Bischoff por su desprendimiento, voluntad, tiempo, generosidad y asesoramientos incansables le estoy infinitamente agradecida. Sin su ayuda difícilmente hubiera llegado al final.

Al Jurado, Dr. Mario Nuñez, Dr. Walter Mario Vargas y Dr. Norberto Oscar García gracias por aceptar esta tarea y por sus sugerencias, las que enriquecieron esta Tesis.

A mis compañeros del Servicio Meteorológico Nacional, José Ares, Raúl Valdivieso, Mauricio Gatto, Darío Rizzo, Lic. Martina Suaya y Lic. Luis Rosso un reconocimiento especial por su trabajo y su tiempo para la obtención de datos y a la Lic. Silvia Nuñez por su ayuda en el manejo de algunos programas computacionales. Al personal del SMN por su tarea diaria en la medición, control y procesamiento de la información, indispensable para este trabajo de investigación.

A la Lic. Ana Laura Berman y al Lic. Ramiro Saurral, del Departamento de Ciencias de la Atmósfera gracias por su ayuda con los datos de índices de inestabilidad y análisis armónicos.

A mis compañeros investigadores del CIMA un recuerdo afectuoso por acompañarme en el mundo del modelado numérico.

A mis colegas meteorólogos les agradezco y reconozco por su obra escrita, ya que sin ella hubiera sido muy difícil la realización de esta Tesis.

A María Laura, gracias por su claridad y paciencia, las que me ayudaron a no desviarme del camino.

A mi esposo Franco y mis hijos Gastón y Dante, mis sostenes, todo mi amor y mi reconocimiento por soportar mis ausencias físicas y mentales durante el tiempo prolongado de realización de esta Tesis.

A mis padres y hermanos por su amor, sostén fundamental en mi vida, gracias.

Soy, esencialmente, gracias a Dios y a los otros.

Resumen

En base a observaciones meteorológicas de superficie y altura se ha encarado en esta Tesis el estudio de la variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada.

Uno de los objetivos de esta Tesis fue documentar la metodología de control de consistencia de los datos meteorológicos. Para ello, se hizo una discusión de los datos disponibles, de la problemática de los errores encontrados y la forma en que se trató de minimizar su incidencia. La metodología empleada permitió mejorar la consistencia de los datos, temporal y espacialmente, el correcto cálculo de los parámetros y la verificación de los valores extremos.

Se ha ensayado una climatología mensual y anual de situaciones sinópticas en la Argentina para el período 1998-2005. La coincidencia de resultados de esta climatología sinóptica con otros autores, en trabajos anteriores, permite consistir la base de datos de situaciones, a pesar de que la designación de situaciones sinópticas y tiempos significativos no se hizo con un método objetivo.

Se analizó la variabilidad interanual de las tormentas desde los datos observados, en puntos distribuidos en la parte continental de Argentina. En todas las estaciones analizadas puntualmente, la variabilidad interanual del número de tormentas mostró una tendencia positiva, en el período 1968-2006, sin embargo durante los años 2004 a 2006 se observó una disminución de tormentas en todas ellas.

Se analizaron los periodogramas correspondientes al análisis armónico del número de tormentas anuales. La poca varianza explicada permite decir que no hay procesos fundamentales que definan la variabilidad interanual del número de tormentas, sino que esta es la resultante de un conjunto de procesos físicos que le dan un carácter de aleatoriedad a este comportamiento.

Se estudiaron los índices de inestabilidad asociados a eventos extremos de precipitación para aquellos puntos con mediciones de radiosondeos. Existen pocos casos con umbrales extremos de los índices en situación de tormentas severas en el horario del radiosondeo, 12 UTC. No obstante cuando se dan estos valores hay una alta probabilidad de que se produzcan tormentas, conformando un indicio importante en el momento del pronóstico.

Se realizó un estudio de la variabilidad interanual de las precipitaciones, en los parámetros cantidad, intensidad y número de días con precipitación, en diferentes zonas de la Argentina.

Se estudió, además, la tendencia interanual de 10 índices de precipitación en la región centro y noreste de la Argentina, con énfasis en los eventos extremos, en el período 1959-2002. Los estadísticos estudiados en el área al este de 65° W y norte de 37° S de nuestro país mostraron cambios que son consistentes con clima más húmedo.

Se estudió la intensidad de precipitación en 60 minutos para Buenos Aires. Estos estudios llevan a pensar que la atmósfera, en la última década, fue capaz de producir eventos aislados de una intensidad no observada con anterioridad.

También se hizo un estudio de las preferencias horarias de la precipitación, para diferentes umbrales de cantidad diaria, en la ciudad de Buenos Aires. A medida que se aumentó el umbral la diferencia de frecuencia horaria se hizo más marcada y las mayores frecuencias se produjeron hacia la madrugada. Se observó que en invierno existen dos máximos que se hacen más notorios cuanto mayor es el umbral de precipitación. Análisis similares se hicieron para otras estaciones.

En base a las salidas de un modelo regional ETA, de pronóstico de malla fina y de las observaciones de precipitación medida, se examinó la verificación del desempeño del modelo para la representación de la precipitación. Se estudió la verificación de la precipitación en pronósticos a 24, 48 y 72 horas, en 9 puntos de observación distribuidos en el territorio argentino. Se estudiaron las diferencias entre el valor dado por el modelo y la observación, así como el porcentaje de aciertos de casos con y sin precipitación.

El modelo pronosticó mejor los días sin precipitación que con precipitación.

Los errores reiterados, es decir que se mantuvieron durante 3 días, oscilaron entre el 8% y 24% de los casos analizados. Cuando se produjeron errores reiterados de sorpresas el rango de la precipitación se encontró en su mayoría entre 4 y 12 mm.

Los aciertos del modelo, para las estaciones estudiadas, estuvieron por encima del 76% para 24 horas de pronóstico, por encima de 71% para 48 horas y mayores a 65% a 72 horas.

Abstract

This Thesis studies the precipitation variability in Argentina, in different time scales, related with convective observed activity, based on surface and height meteorological observations.

Among the objectives of this Thesis it has figured to document the consistence control methodology of the meteorological data. For this purpose, it was made a discussion of available data, the problem of errors and the way to minimize their incidence. The methodology used allowed to improve the data consistence, spatial and temporary, the correct calculation of the parameters and the verification of the extreme values.

A monthly and annual Argentinean climatology of synoptic situations has been rehearsed, for period 1998-2005. The coincidence of results between this synoptic climatology and other authors, in previous works, allows consist the meteorological situations database, although the appointment of synoptic situations and significant weather were not made with an objective method.

The inter-annual storm variability from observed data, distributed in continental Argentina points, was analyzed. All the stations showed a positive tendency in

inter-annual variability of the storms number, in period 1968-2006, however during the years 2004 at 2006 a decrease of storms is observed in all of them.

The periodograms corresponding to harmonic analysis of annual number of precipitations days were analyzed. The little explained variance allows say that there are not fundamental processes that define the inter-annual variability of storms number, but rather this is the resultant of a group of physical processes that give a random character to this behavior.

The instability indexes associated to extreme precipitation events were studied for those points with radiosondes measures. Few cases exist for extreme thresholds indexes, corresponding to severe storms situations, at 12UTC, in time of radiosonde, nevertheless when they are given there is a high probability that storms take place, conforming an important indication at forecast moment.

It was carried out a study of inter-annual precipitation parameters variability, quantity, intensity and number of days with precipitation, for different Argentinean zones.

It was also studied the inter-annual tendency of 10 precipitation indexes in center and northeast region of Argentina, with emphasis in extreme events, in 1959-2002 period. The statistical studied in the area at east of 65° W and north of 37° S, show changes in precipitation indexes that are consistent with more humid climate.

The precipitation intensity for 60 minutes in Buenos Aires was studied. These studies carry to think that the atmosphere, in last decade, is able to produce isolated events of an intensity not observed previously.

A study of preferences of precipitation horary, for Buenos Aires city, for different precipitation thresholds of daily quantity, it was made too. As is increased the threshold, the difference of horary frequency becomes more notable and the biggest frequencies take place toward the dawn. In winter, are observed two maximum, they become more notorious when the precipitation threshold is greater. Similar analysis was done for other stations.

On the other hand, based on a fine mesh regional forecast ETA model outputs, and measured precipitation, the verification of model acting was examined for precipitation representation. The precipitation verification was studied for 24, 48 and 72 hours of forecast, in 9 observation points, distributed in Argentinean territory. It was studied the difference between the model and the observations, as well as the percentage of successes for cases with and without precipitation. The forecast model was better the days without precipitation than those with precipitation.

The days with reiterated errors, that is the error stayed during 3 days, oscillated between 8% and 24% of analyzed cases. When reiterated errors of surprises took place, the precipitation range was majority between 4 and 12 mm.

The model successes, for the studied stations, were above 76% for 24 hours of forecast, above 71% for 48 hours and bigger to 65% for 72 hours.

Índice

	Pág
Agradecimientos	
Índice	
Resumen	
Objetivos	1
Introducción	1
Capítulo I: Tratamiento de la información	1
1.1 Recopilación de la información	4
1.2 Control de calidad de la información	7
1.2.1 En general	
1.2.2 Precipitación	
1.2.3 Humedad y presión en superficie	
1.2.4 Viento en superficie	
1.2.5 Cálculo de altura de la superficie geopotencial de 850 hPa	
1.2.6 Otros controles	
1.2.7 Radiosondeos	
1.3 Conclusiones Capítulo I	14
Capítulo II: Climatología de situaciones meteorológicas en la Argentina	15
2.1 Introducción	15
2.2 Distribución mensual de los eventos	16
2.3 Marcha anual de los eventos	21
2.4 Conclusiones Capítulo II	25
Capítulo III: Estudio de las tormentas en la Argentina continental	27
3.1 Evaluación de la ocurrencia de tormentas en la parte continental argentina	28
3.2 Tormentas en puntos de observación particulares	33
3.3.1 Salta, Córdoba y Mendoza	
3.3.2 Resistencia, Posadas, Iguazú y Paso de los Libres	
3.3.3 Aeroparque, Ezeiza y Buenos Aires	
3.3.4 Neuquén	
3.3.5 General Pico, Córdoba y Mar del Plata	
3.3 Significancia de tendencias de frecuencia anual de tormentas	41
3.4 Periodogramas del número de tormentas anuales	42
3.5 Análisis de índices de inestabilidad	48
3.6.1 Índices de inestabilidad en Ezeiza	48
3.6.1.1 Índices de inestabilidad extremos anuales en Ezeiza	
3.6.2 Índices de inestabilidad en Resistencia	54
3.6.3 Índices de inestabilidad en Córdoba	56
3.6 Conclusiones Capítulo III	58
Capítulo IV: Estudio de precipitaciones extremas	62
4.1 Introducción	62
4.2 Antecedentes – Naturaleza de las precipitaciones extremas	62
4.3 Máximos de precipitación diaria	67
4.4 Índices de precipitación	71
4.4.1 Índices de Ceres	76
4.4.2 Índices de Mar del Plata	80

4.4.3 Índices en la región sur de Sudamérica	83
4.5 Relación entre número de días con tormentas, número de días con precipitación, cantidad total e intensidad de la precipitación	85
4.5.1 Cantidad total de precipitación y frecuencia anual de precipitaciones y tormentas	85
4.5.2 Intensidad de la precipitación	89
4.5.2.1 Análisis para Aeroparque	
4.5.2.2 Análisis para la Ciudad de Buenos Aires	
4.5.2.3 Análisis para Salta	
4.5.2.4 Análisis para Resistencia	
4.5.2.5 Conclusión de intensidad de precipitación	
4.6 Ensayo sobre horarios de la precipitación en Buenos Aires	101
4.6.1 Análisis de la frecuencia horaria de precipitación cada 5 minutos en Buenos Aires	
4.7 Conclusiones Capítulo IV	109
Capítulo V: Verificación de la precipitación con un modelo regional	112
5.1 Introducción	112
5.2 Modelo utilizado	113
5.2.1 Parametrizaciones en la capa superficial	
5.2.2 Convección y Precipitación	
5.2.3 Nubosidad y Radiación	
5.3 Verificaciones con el modelo ETA	115
5.3.1 Salta Aero	117
5.3.2 Resistencia Aero	121
5.3.3 Córdoba Aero	124
5.3.4 Mendoza Aero	127
5.3.5 Ezeiza Aero	130
5.3.6 Santa Rosa Aero	133
5.3.7 Neuquén Aero	136
5.3.8 Bahía Blanca Aero	139
5.3.9 Viedma Aero	142
5.4 Discusión sobre los resultados	145
5.5 Conclusiones Capítulo V	151
Capítulo VI: Estudios futuros	155
Anexo I - Red de Estaciones	156
Anexo II - Controles de consistencia de los datos de mensajes SYNOP	161
Anexo III - Características que definen los eventos de las situaciones sinópticas o tiempos significativos más importantes en Capítulo II	166
Anexo IV - Definición de índices de inestabilidad y umbrales para actividad convectiva	167
Anexo V Consideraciones para la digitalización de fajas pluviográficas - Pluviógrafos a sifón	171
Referencias bibliográficas	172
Abreviaturas – Unidades	182

Título de la Tesis

Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada.

Documentación de la metodología para el tratamiento de la información.

Verificación del desempeño de un modelo regional de pronóstico de precipitación.

Objetivos de esta Tesis

Documentar la metodología de control de consistencia de los datos meteorológicos.

Ensayar una climatología de situaciones meteorológicas en la Argentina.

Analizar la variabilidad interanual de eventos de tormentas, desde los datos observados.

Analizar las tendencias de índices de precipitación con énfasis en los valores extremos.

Analizar el comportamiento de la intensidad de precipitación en distintas escalas de tiempo y su distribución de frecuencia horaria.

Analizar la verificación de un modelo de pronóstico de malla fina para la representación de la precipitación observada.

Introducción

Argentina, con una gran extensión latitudinal y longitudinal, presenta aspectos del tiempo y clima mayoritariamente subtropicales y extratropicales. Se encuentra al sur del continente sudamericano, rodeado por los océanos Pacífico y Atlántico, los que producen una gran influencia en la meteorología del país. Un aspecto geográfico importante es la presencia de la cordillera de los Andes, alta y angosta, a lo largo del límite oeste del país (Karoly y Vincent, 1998).

Otro aspecto importante es la presencia de los bosques del Amazonia, al norte del país en Brasil, también fuente de humedad.

La circulación atmosférica en la baja troposfera presenta características como la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ), episodios de jet de capas bajas (LLJ) y la baja del Chaco en verano. En la alta atmósfera se observan la alta Boliviana, el jet subtropical y el jet polar (Figueroa et al., 1995, Kalnay et al., 1986, Vera et al., 2001).

En el Océano Atlántico tropical, la zona de convergencia intertropical (ITCZ) presenta un estiramiento del oeste-sudoeste al este-noreste con una amplia migración meridional estacional. También hay una fuerte interacción entre los trópicos y los extratropicos (Satyamurty et al., 1998).

Argentina sufre la influencia de El Niño y del fenómeno de Oscilación del Sur (OS). Varios autores han estudiado las correlaciones entre estos fenómenos y la variabilidad de la precipitación (Aceituno, 1988; Compagnucci y Vargas, 1998). Velasco y Fritsch (1987) observaron que el número de MCC's en el norte de Argentina y de Paraguay es más que el doble en años El Niño.

La Argentina experimenta variadas perturbaciones transitorias en todas las escalas, desde sinópticas y de mesoescala hasta convección organizada y no organizada. Estos eventos asociados a sistemas de multiescalas influyen directamente en algunos eventos extremos.

Los eventos extremos afectan sensiblemente a la sociedad y a la economía del país. Las interacciones oceánicas, los sistemas de los oestes en latitudes medias, la existencia de eventos de jet en capas bajas (South America Low Level Jet – SALLJ) (Nicolini M. et al., 2002), las condiciones del medio ambiente y aún la existencia de El Niño o La Niña son los patrones que los determinan. Más aún, la variabilidad del medio ambiente a gran escala puede ser relacionada como forzante, incluyendo el calentamiento global, como así también la variabilidad interdecádica e interanual de la circulación atmosférica general.

El pasaje de frentes fríos es el transiente más común sobre el continente. Los ciclones de latitudes medias provenientes del Pacífico cruzan Los Andes, al sur de los 35° S, y siguen su curso hacia el este-sudeste del Atlántico, mientras que el frente frío asociado con el centro de baja, se mueve hacia el noreste. Cuando el frente frío barre hacia el noreste del continente, se impulsa la actividad convectiva.

La región norte de nuestro país experimenta el efecto de desarrollos de complejos convectivos de mesoescala (MCC's), especialmente en el período noviembre-abril (Velasco y Fritsch, 1987; Torres, 1999; Vila, 2005).

Tendencias temporales de las variables meteorológicas se deben a variabilidad climática natural o a factores antropogénicos, muy difíciles de cuantificar. Largas tendencias temporales pueden estar enmascaradas por cambios en la circulación.

En el capítulo I se hace una discusión de los datos disponibles en general, de la problemática de los errores encontrados y la forma en que se trató de minimizar su incidencia. En el Anexo I se incluye una lista de las estaciones de la red de observación con las que se trabajó. En Anexo II se describen las consistencias o validaciones efectuadas a los datos, con el objeto de que quede como documentación para los numerosos usuarios de esta información.

En el Capítulo II se ensaya una climatología sinóptica mensual y anual de las situaciones diarias consideradas más importantes, en la parte continental de la Argentina, para el período 1998-2005. En el Anexo III se especifican las definiciones de los eventos de situaciones sinópticas o tiempos significativos utilizados en este capítulo.

En el Capítulo III se analiza la variabilidad interanual de las tormentas, en puntos distribuidos en la parte continental de Argentina, se analizan los periodogramas correspondientes al análisis armónico del número de tormentas anuales y se estudian los índices de inestabilidad asociados a eventos extremos de precipitación para aquellos puntos con mediciones con radiosondeos. En Anexo IV se definen los índices de inestabilidad usados en este capítulo.

En el Capítulo IV se realiza un estudio de la variabilidad interanual de las precipitaciones (cantidad, intensidad y número de días con precipitación), en diferentes zonas de la Argentina. Se estudia además la tendencia interanual de 10 índices de precipitación en la región centro y noreste de la Argentina, con énfasis en los eventos extremos.

También se hace un estudio de los horarios de la precipitación en la ciudad de Buenos Aires, para diferentes umbrales de precipitación.

En el Capítulo V se estudia la verificación de la precipitación en pronósticos a 24, 48 y 72 horas con el modelo regional ETA, en 9 puntos de observación, a nivel anual y mensual. Se estudian las diferencias entre el valor dado por el modelo y la observación. Se estudia el porcentaje de aciertos de casos con y sin precipitación y se estudian los porcentajes de aciertos y errores sostenidos durante el período de pronóstico.

Finalmente, en el Capítulo VI, se incluyen temas de estudio pendientes que podrían desarrollarse a futuro.

Capítulo I

Tratamiento de la información

1.1 Recopilación de la información

Los datos meteorológicos provenientes de estaciones de superficie y de altura y las fotos satelitales utilizados en este trabajo son los disponibles en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Diariamente, hora a hora, las estaciones de observación meteorológica, las boyas, los barcos, los satélites y las aeronaves transmiten la información al SMN en forma de mensajes meteorológicos, recibidos en el Centro Regional de Telecomunicaciones Buenos Aires, donde se les hace un primer control de encabezamiento de mensajes. Los que contienen un encabezamiento incorrecto no entran al sistema y son rechazados.

Los mensajes que pasan el primer control pasan a la “**consistencia formal**”, llamada así a la que se encarga de controlar el formato de codificación de los mensajes. Si existe algún grupo del mensaje que no se puede identificar este grupo es anulado, si en cambio tiene un error de “**consistencia interna**”, denominada así la consistencia entre grupos, es decir entre parámetros de la misma hora, se corrige en tiempo real los que por secuencia temporal se pueden identificar o si se puede consultar con la estación de observación en el momento del control.

Para aproximadamente medio centenar de estaciones existe un Sistema de ingreso a medios magnéticos y control de Observación Meteorológica, en la misma estación, Sistema SOM. Esta información llega junto con el documento original completado por el observador, denominado “Libreta Meteorológica” al final del mes. Los datos faltantes se completan o bien con la información que llega del Sistema SOM o se completa a mano transcribiendo la información desde la Libreta Meteorológica.

Los datos disponibles en la base de datos con los que se trabajó provienen de estaciones “meteorológicas”, “climáticas” y “pluviométricas”.

Esta clasificación de estaciones tiene que ver con el “plan de labor” (cantidad y distribución diaria de los horarios de observación), con los parámetros a medir (las estaciones climáticas no miden visibilidad fina, plafond fino, estado del suelo, presión y la precipitación sólo cada 24 horas y las pluviométricas miden sólo precipitación).

Las estaciones climáticas hacen menos observaciones, como mínimo tres en el día (9, 15, 21 HOA).

Las pluviométricas miden sólo precipitación una vez al día y la preparación del observador suele ser menor.

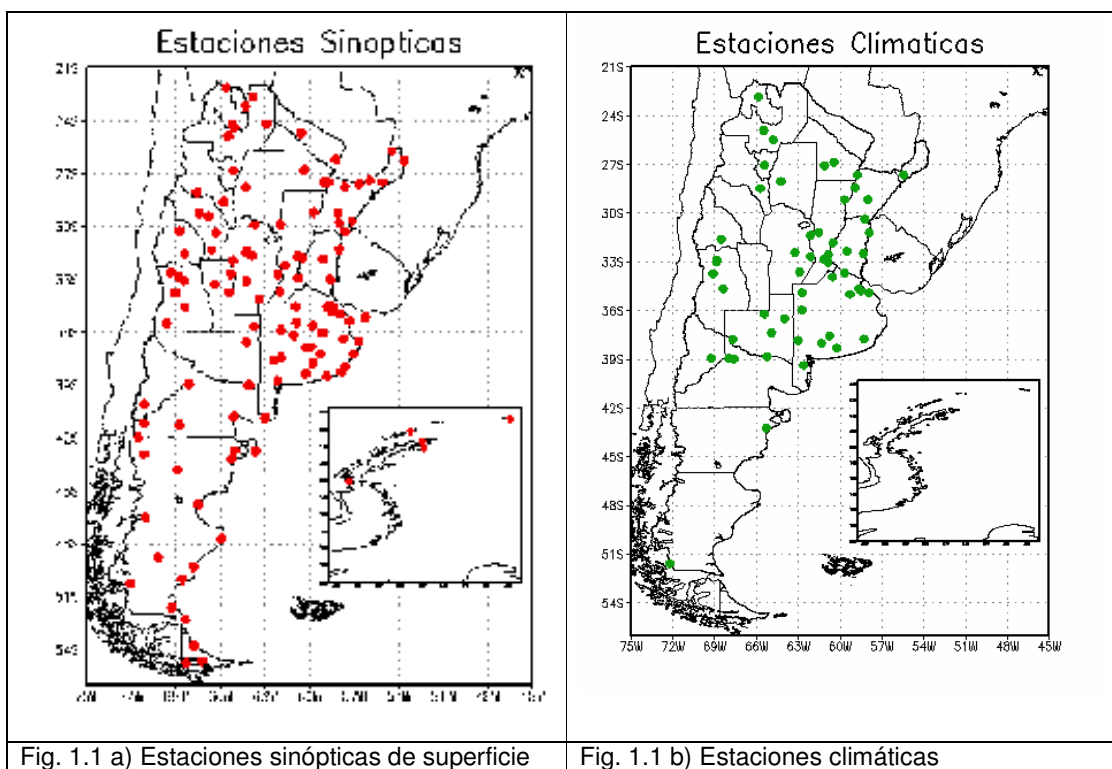
Cabe destacar que además existen períodos de funcionamiento diferentes para las estaciones. Estaciones que dejan de funcionar por períodos prolongados, estaciones que no observan los fines de semana o simplemente cierran por vacaciones durante varios días.

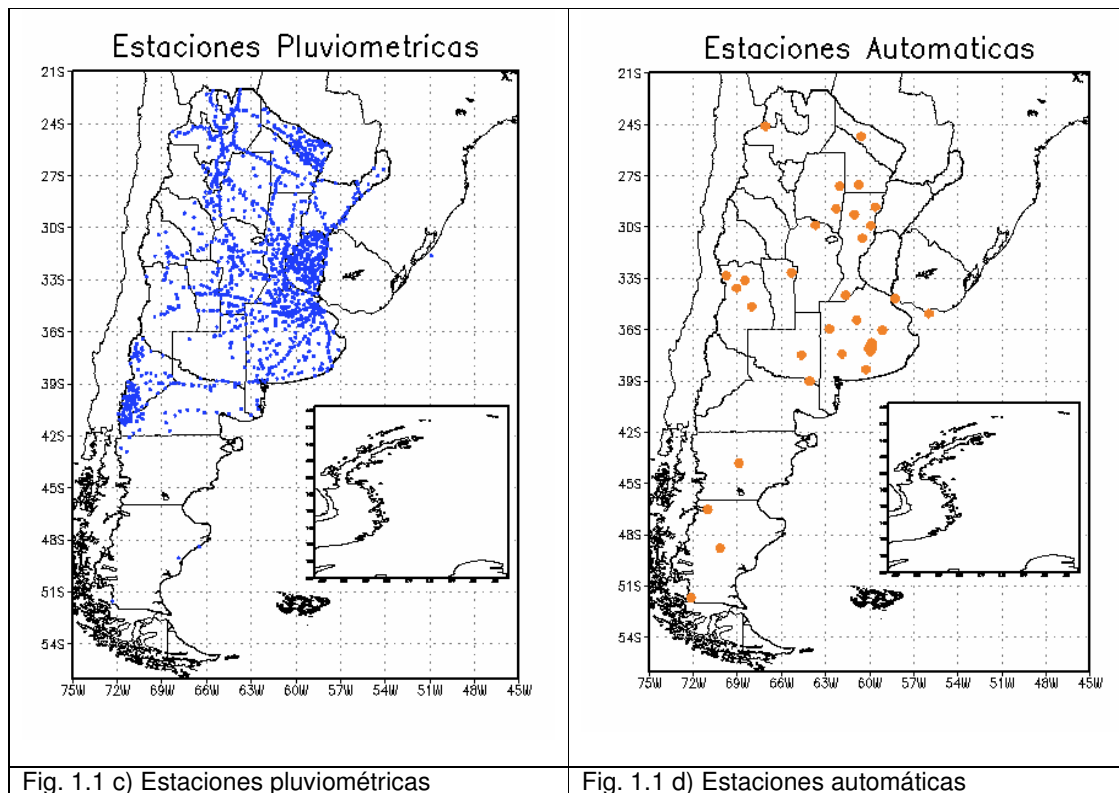
Cabe mencionar, además, que puede existir información estimada, no medida, ya que hemos encontrado casos de estimación por falta del instrumental adecuado, instrumental deficiente o simplemente no haber hecho la observación, sobre todo en horas de la madrugada.

De lo detallado anteriormente se infiere que hay datos faltantes y que los que están presentes provienen de estaciones de diferentes calidades y de planes de labor diferentes. Esto implica que el seguimiento de la situación meteorológica es de diferente modo según el plan de labor y además existen fenómenos que no se informan simplemente porque el observador no estuvo presente en el momento en que ocurrió.

Otro problema que se encontró en la información es la falta de metadatos, es decir qué instrumentos se utilizaron, cuál fue la evolución en el entorno de la estación, cuáles fueron los traslados de las estaciones, qué algoritmos y tablas se usaron para los cálculos de los parámetros, en qué unidades se está informando (p.ej.: m/seg, km/h, kt, escala Beaufort) y cómo se hicieron las conversiones de unidades, cuáles fueron las fechas fehacientes de los datos considerando los cambios de husos horarios, en qué período se considera la validez del dato (por p.ej.: cuando se dice tormenta diaria, entre qué horas se considera, HOA u hora UTC).

Las redes de observación que se tuvieron en cuenta para los estudios de esta Tesis son las que figuran en Figs. 1.1 a) a d), donde se identifican las estaciones sinópticas (a), estaciones climáticas (b), estaciones pluviométricas (c) y estaciones automáticas (d). La lista de estaciones sinópticas y climáticas con su respectiva latitud, longitud y altura figuran en **Anexo I**. Cabe mencionar que estas estaciones no funcionaron simultáneamente en todos los períodos estudiados.





En la Fig. 1.2 se muestra el total anual de estaciones de la red pluviométrica, con información completa en el año. Las estaciones pluviométricas han tenido un decrecimiento dramático en todo el período desde 1950, debido fundamentalmente al cambio de interés en la dirección del SMN, un organismo que le daba peso a la agricultura pasó a ser un organismo donde su interés fue la aviación. Por tal motivo muchas estaciones sinópticas se movieron de lugar hacia los aeropuertos y los planes de labor de algunas de ellas correspondieron al horario de funcionamiento de los mismos.



Fig 1.2 N° de pluviométricas, por año, con información completa disponible

1.2 Control de calidad de la información

1.2.1 En general

Después de la recopilación de datos provenientes de fuentes no homogéneas hay que tener en cuenta que la información contiene errores de instrumental, de emplazamiento, de observación y/o cálculo, de codificación y anotación, de transmisión y de ingreso de datos.

Se detallará para cada fenómeno estudiado una estimación de la incertidumbre de los datos.

La información en tiempo real (datos SYNOP) tiene consistencias formales de codificación, controles de rangos de valores de la variable, consistencias internas de relación entre parámetros de la misma hora, relaciones temporales entre variables y controles espaciales a partir de cartas analizadas de temperatura o presión. Las consistencias internas figuran en el **Anexo II**.

Los fenómenos informados son consistidos con el tiempo presente y pasado, la nubosidad, la visibilidad, el viento, y todos los parámetros disponibles en su conjunto; es decir debe haber coherencia con el fenómeno informado. Por ej.: lluvias y cielo despejado, se consulta con el observador o se ve la secuencia horaria para determinar cuál de los dos datos es el incorrecto, o se analiza la zona.

Los controles del sistema SOM son similares a los que se realizan en la base en tiempo operativo, sin tener en cuenta la consistencia espacial y temporal, salvo en el control de la temperatura horaria contra las temperaturas máxima y mínima diarias.

Los porcentajes de datos en general que se completan, se validan y se corrigen son del siguiente orden:

Errores de ingreso manual (<4%)

Formales de codificación (~15%)

Interna (<10%)

Temporales (1%)

Espaciales (<1%)

A través de los años los controles de consistencia de los datos y la metodología para su detección fue variando. La posibilidad de las interfases gráficas permitió realizar controles temporales imposibles en décadas anteriores. La posibilidad de tener accesible en medios magnéticos la información horaria, en algunas estaciones, permitió un mejor control de la coherencia de los datos acotando en forma importante sus errores.

1.2.2 Precipitación

Es conocida la dificultad de trabajar con el parámetro precipitación dada su característica no continua y a las diferentes fuentes de error (Hoffmann, J. 1970 a) y b)).

Los controles de precipitación que se realizaron fueron tanto en lo referente a su ocurrencia como a la cantidad.

La ocurrencia se controla con el parámetro tiempo presente o tiempo pasado, nubosidad, situación meteorológica, fenómenos en general, estaciones cercanas e imagen satelital.

La cantidad diaria, en el caso de estaciones sinópticas, se controla con los valores parciales de precipitación cada 6 horas. Se han completado todos los registros de precipitación para los períodos estudiados, siempre y cuando haya estado en funcionamiento la estación y el observador haya informado la medición, es decir que se trabajó con toda la información disponible en el SMN, no quedaron datos en los documentos originales sin ingresar a la base de datos.

Para algunas estaciones en particular se analizaron las precipitaciones del pluviómetro vs. la del pluviógrafo teniendo en cuenta la calidad el funcionamiento de este último. Si bien la precipitación del pluviógrafo en general es menor a la del pluviómetro por un problema de inercia en la descarga del sifón, se observan casos muy diferentes en cantidad, pudiendo deberse a mal funcionamiento del pluviógrafo o a mala codificación del dato del pluviómetro. En el caso de precipitaciones de pequeñas cantidades existen innumerables problemas de falta de observación en el pluviómetro que pueden ser detectadas en la faja del pluviógrafo, o por otro lado fajas que simulan contener pequeñas precipitaciones pues no se las cambió en forma diaria y permanecieron en el pluviógrafo por varios días lo que dio la oportunidad de que se fuera corriendo el trazo lo que correspondería a falsa precipitación de pocos milímetros.

Los inconvenientes encontrados en el análisis de las fajas de pluviógrafo fueron el mal funcionamiento del instrumental, el sifón no alcanzaba la altura adecuada, se quedaba trabado, la pluma no marcaba, la tinta no era la adecuada, las fajas estaban manchadas y no se reconocía el trazo, etc.

1.2.3 Humedad y presión en superficie

Para homogeneizar la calidad de los datos, se desarrolló una metodología de entrecruzamiento de la información proveniente del SYNOP, del SOM y de la carga manual, que permitió realizar consistencias muy efectivas, principalmente en las variables de humedad y de presión mediante la utilización de representaciones gráficas convenientemente generadas, mediante un ciclo de correcciones sucesivas hasta alcanzar un grado satisfactorio de un umbral de error para cada variable.

En el caso de los parámetros de humedad se graficaron las diferencias de temperatura y temperatura de rocío versus humedad relativa. La depresión del punto de rocío es función de la humedad relativa a través de la temperatura, la temperatura de bulbo húmedo y la presión (Iribarne, J. 1964). Cuanto menor es la humedad relativa existe un rango de posibilidades mayor para la depresión del punto de rocío. Sin embargo existen errores que se detectaron por alejamiento de la nube de puntos. Estos datos se controlaron y se corrigieron (Fig. 1.3).

Esto nos permitió detectar problemas en temperatura, temperatura de rocío o humedad relativa que se corrigieron acudiendo a los documentos originales y corroborando la secuencia horaria, según la situación meteorológica reinante, de la temperatura y de la temperatura de rocío. Luego se recalculó la humedad relativa.

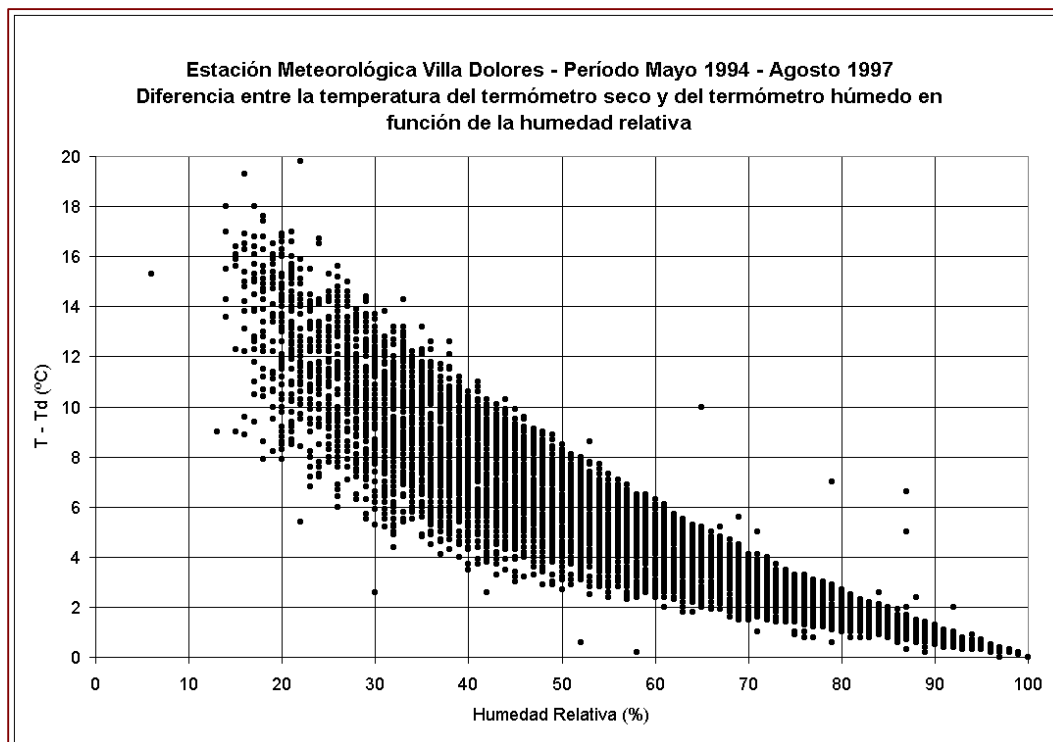


Fig. 1.3 - Detección de errores en T, Td y HR. Extraído de Rosso, L., M. Marino, I. Barnatán, J. Ares y A. Belohlawek (2005)

1.2.4 Viento en superficie

A medida que se fue trabajando con los datos de las estaciones, comenzaron a verificarse deficiencias sistemáticas en la información, como los errores en la medición de viento: cambios de instrumental de viento, cambios de la altura del instrumento, cambios de emplazamiento con diferentes barreras de viento, crecimiento de vegetación cercana al instrumento, mezcla de información con diferentes formas de medición por desperfecto del instrumental, ej. Escala Beaufort, sin informar.

En la Fig. 1.4 se muestra las velocidades de viento horario de la estación Malargüe, para el período mayo 1994-agosto 1997. Esta estación mezcla distintas formas de medición. Las intensidades de viento, expresadas en nudos, muestran frecuencias de ocurrencia muy disímiles entre valores contiguos. Se encuentran períodos en los cuales se utiliza la escala Beaufort, indicados con flechas, junto a otros medidos con anemómetro.

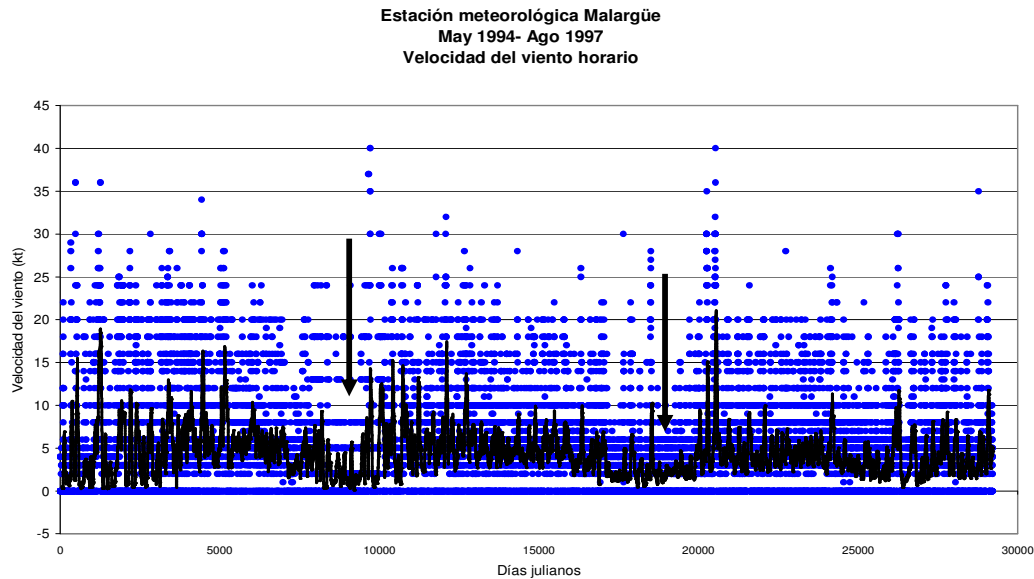


Fig. 1.4 - Viento horario en Malargüe y media móvil de 60 días Extraído de Rosso, L., M. Marino, I. Barnatán, J. Ares y A. Belohlavek (2005).

En la Fig. 1.5 la estación Aeroparque informa la ráfaga máxima diaria con el viento máximo diario, el cual es uno de los vientos horarios observados. Se observan variaciones en los parámetros estadísticos asociados al cambio de instrumental como por ejemplo en los años 1999 y 2000 (flecha).

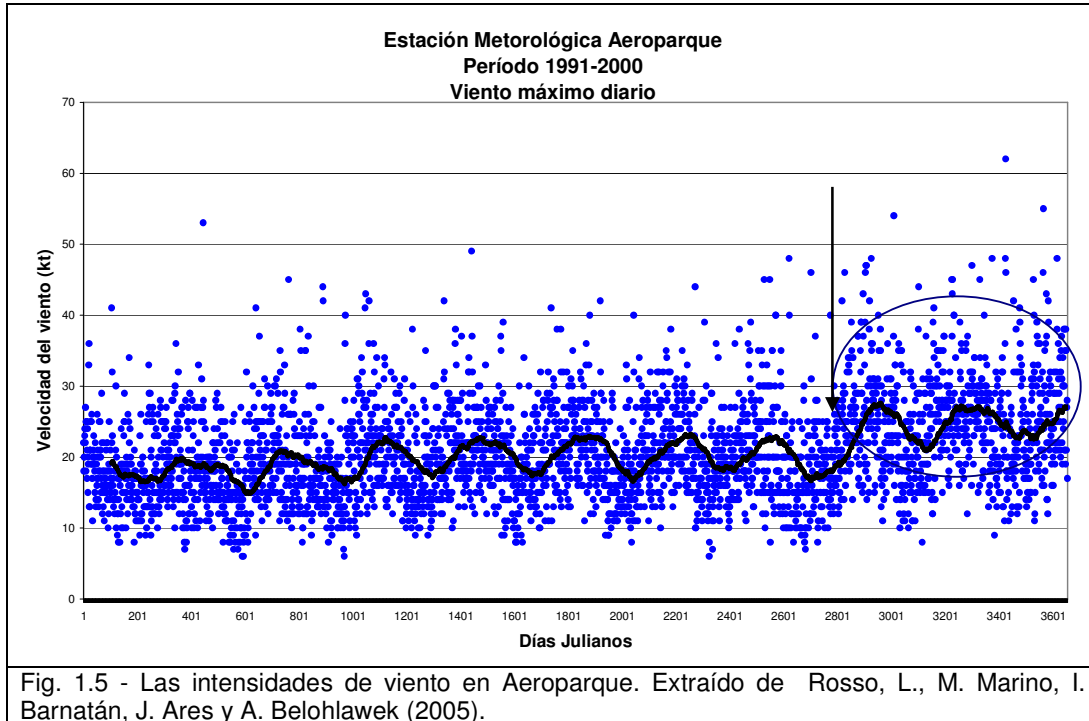
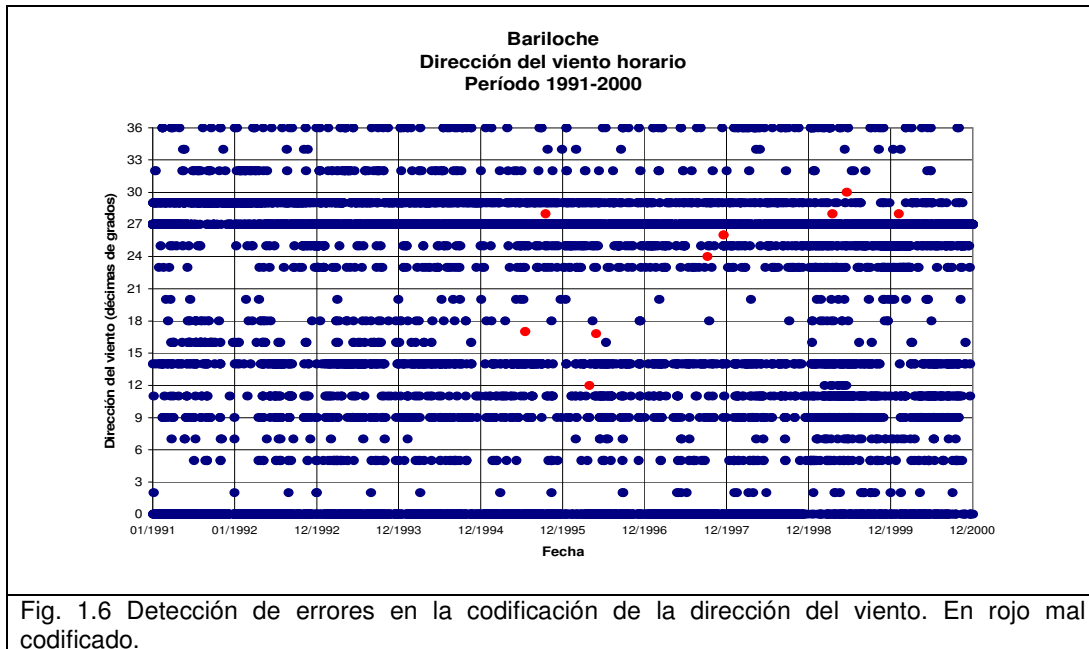


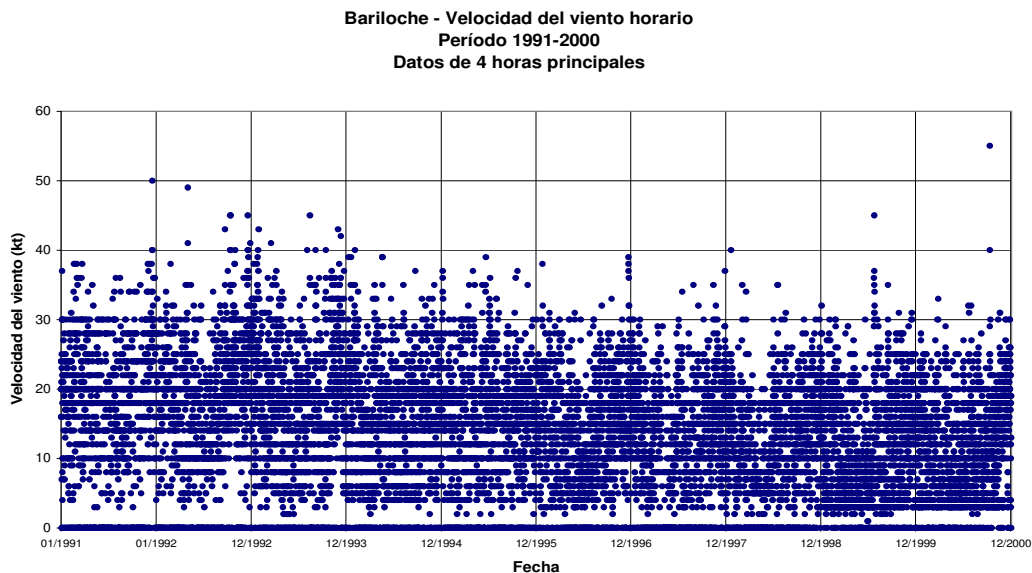
Fig. 1.5 - Las intensidades de viento en Aeroparque. Extraído de Rosso, L., M. Marino, I. Barnatán, J. Ares y A. Belohlavek (2005).

Otro inconveniente encontrado en la medición de viento es la mayor frecuencia relativa en las 8 direcciones principales, aunque deban informar en 16 direcciones, y esto no se puede discriminar pues depende del observador que

opera con turnos rotativos (Fig 1.6), además de detectar codificaciones de direcciones incorrectas como las indicadas en rojo.



En la Fig. 1.7 se muestran cambios en la intensidad del viento, en horas principales, debido a cambios de emplazamiento y de instrumental en la estación Bariloche. El rango del viento se modifica a partir de 1996, hay más casos de velocidades menores y menos de velocidades mayores. Hasta 1995 faltan velocidades de 9, 11 y 13 kt; una sola vez se midió 1 kt. Se observa que disminuye el viento pues cada vez hay menos datos de altas velocidades y más de menores velocidades.



Otro tipo de errores que se pudieron detectar fueron los problemas de emplazamiento del instrumental. Un ejemplo de ello se muestra en la Fig. 1.8 en la estación Sauce Viejo donde se movió el anemómetro a otro lugar y produjo diferencias respecto de Paraná inexistentes hasta ese momento, luego se volvió a mover nuevamente.

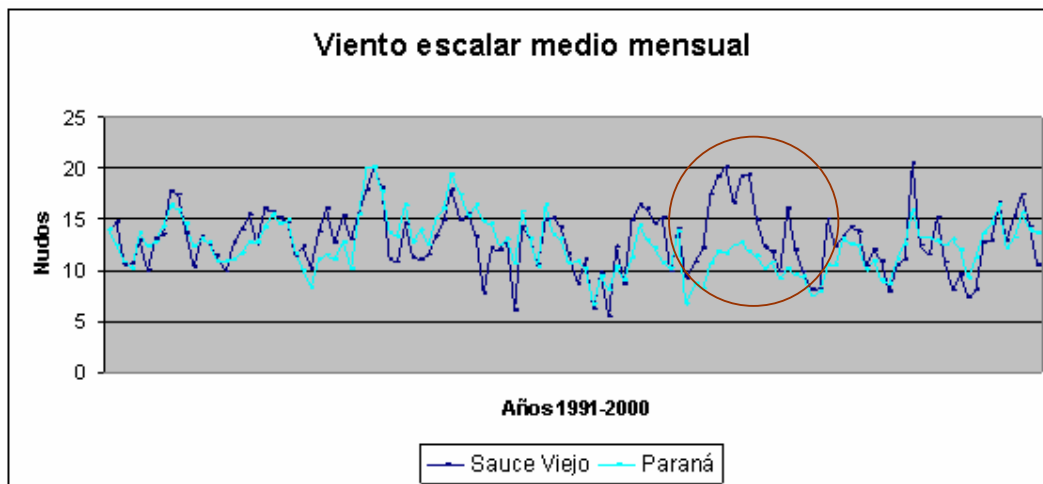


Fig. 1.8 Viento escalar medio mensual para Sauce Viejo y Paraná.

Hasta 1980 la detección de errores se realizaba, tal como fuera explicado, sólo por consistencias formales e internas y por relación con los parámetros diarios. Posteriormente la corrección mejoró. Esto redundó, en muchos casos, en la modificación de los parámetros estadísticos.

Otro ejemplo de cambio de instrumental se observa en el caso del viento medio mensual de la estación Ezeiza (Fig. 1.9) cuyos valores muestran una marcada diferencia de variabilidad mensual a partir de la década de 1980(raya). El anemocinémógrafo se cambió de uno Dines a otro Bendix.

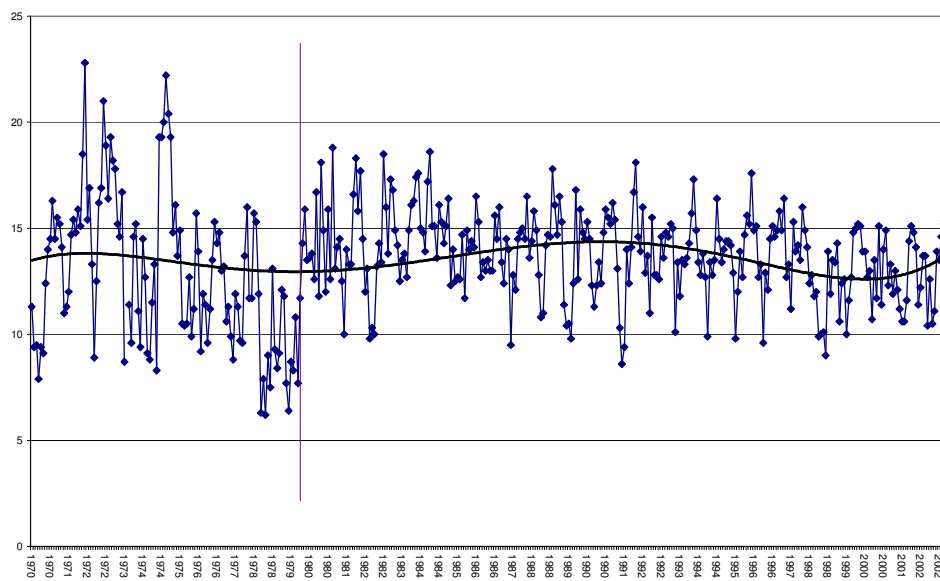


Fig 1.9 Velocidad del viento medio mensual en Ezeiza. 1970-2002

Los cambios en la metodología de detección de errores también influyen en cambios en el comportamiento de los valores finales de las variables.

1.2.5 Cálculo de altura de la superficie geopotencial de 850 hPa

Para estaciones cuya altura es superior a 800 m. no se calcula la presión a nivel del mar sino la altura del nivel de 850 hPa. Respecto del cálculo de esta altura se graficaron la diferencias entre la altura informada y la calculada detectando saltos temporales por mal cálculo de la altura de la estación o por cambio de altura de la estación sin haber cambiado las tablas de cálculo correspondientes, además de datos dudosos. En la Fig. 1.10 se muestran las diferencias de altura geopotencial informada menos calculada en horas principales, en la estación Bariloche, para el período 1991-2000. Se evidencian dos cambios de altura de la estación en julio de 1993 y en enero de 1996.

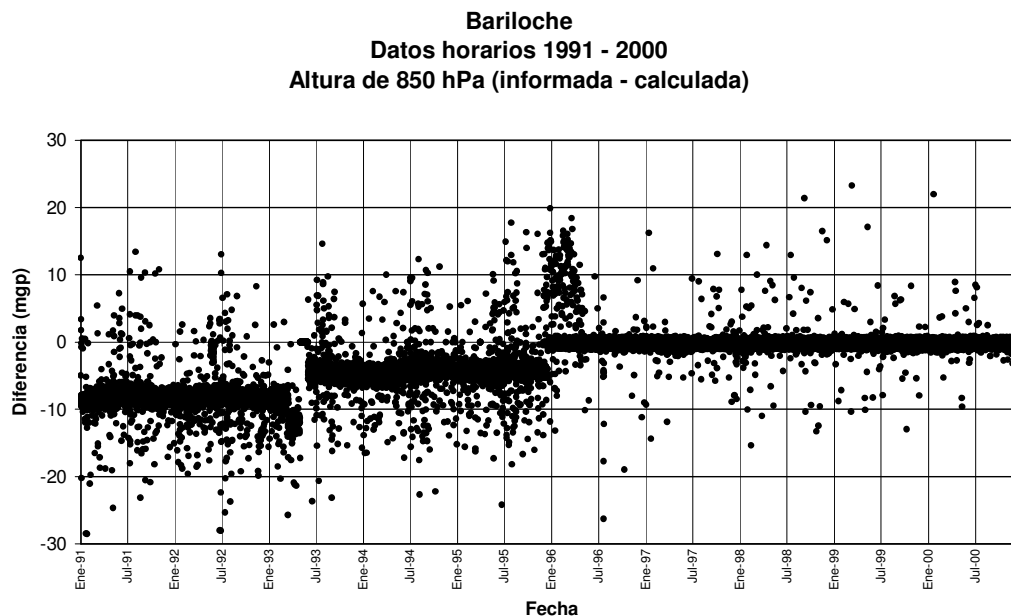


Fig. 1.10 Diferencias de altura geopotencial en 850 hPa, informada menos calculada- Bariloche

1.2.6 Otros controles

Para las series diarias de 105 estaciones se realizó un control temporal (período 1970-2002) donde se buscaron:

- Valores constantes de fuerza del viento a una hora dada durante varios días
- Valores de tensión de vapor superiores a los de saturación
- Humedad relativa constante durante varios días para una hora dada.
- Parámetros de humedad incongruentes
- Salto exagerados en la humedad sin causa aparente
- Salto en la temperatura sin causa aparente

Estos errores se controlaron contra toda la información existente y se corrigió o se anuló en caso de no poder recuperarlo.

1.2.7 Radiosondeos

En el caso de datos provenientes de radiosondeos se realizaron los siguientes controles de calidad:

- a) formal de acuerdo al formato de los mensajes TEMP y PILOT,
- b) consistencia interna, es decir relación entre parámetros de una misma observación, para T, TD, dirección e intensidad del viento, presión en superficie y alturas geopotenciales,
- c) controles hidrostáticos, gradientes superadiabáticos y recálculo de alturas de niveles significativos.

Cabe mencionar que los análisis del NCEP utilizados no contienen las correcciones de los datos de radiosondeos realizados en el SMN ya que estas correcciones no se reenvían aún a los centros mundiales de datos.

Lo mismo ocurre con los datos de superficie de la Argentina utilizados por los centros de análisis y pronóstico.

Los análisis que se utilizan en la corrida del modelo ARPE contienen los datos de superficie y altura corregidos pues los mismos se realizan después de terminado el control de consistencia y la corrección de datos.

Conclusiones

- Los faltantes de datos en la base utilizada tienen su principal fuente en el defectuoso estado del instrumental meteorológico, en un mantenimiento insuficiente y tardío y en los planes de labor variables.
- La falta de calidad de los datos refleja una escasa preparación y/o actualización del personal de observación, así como de los controles correspondientes a la supervisión del trabajo.
Estas deficiencias implicaron destinar una cantidad extraordinaria de recursos humanos y tiempo en el control de calidad y consistencia de los datos.
- Los cambios en la metodología de detección de errores también influyen en cambios en el comportamiento de los valores finales de las variables.
- La metodología empleada permitió mejorar la consistencia de los datos temporal y espacialmente, el correcto cálculo de los parámetros y la verificación de los valores extremos. Muchos errores detectados por otros usuarios con metodologías diferentes fueron tenidos en cuenta.
- Una vez efectuados los controles, validaciones y correcciones se obtuvo una base de datos más confiable para trabajar. Ello no significa que esta tarea esté concluida, siempre se encontrarán datos dudosos o erróneos cuando mejore la observación (instrumental, idoneidad del observador) y la densidad espacial y temporal de datos que nos permitan trabajar en escalas menores y mejorar la metodología de control de los datos existentes actualmente en esta base de datos. Sin embargo es la mejor base de datos medidos disponible para esta investigación.
- Este conjunto de acciones permitió definir un método de consistencias que, se utiliza en forma rutinaria para el ingreso de datos y para la detección de deficiencias en la red de observación del SMN.

Capítulo II

Climatología de situaciones meteorológicas en la Argentina

2.1 Introducción

Con el objeto de realizar el reconocimiento de situaciones sinópticas en la Argentina para su posterior estudio, se generó una base de datos con los eventos significativos en el país, en forma diaria, fundamentalmente sobre el continente.

Cada día, en base a los análisis del modelo en uso (ARPE 10 niveles y ETA a partir del año 2001) y en base a datos de mensajes SYNOP, TEMP, SATEM, SATOB, AIREP, GRIB, fotos satelitales, consultas de tiempo presente, tiempo pasado y de fenómenos severos, se consignaron los dos eventos significativos que caracterizaban ese día, según el criterio del meteorólogo de turno.

Con esta base de datos se cuantificaron los casos diarios de cada tipo de evento ocurrido durante el período 1998-2005, con el objeto de tener una aproximación a un orden de magnitud de la frecuencia de los mismos sobre el continente. Se obtuvieron 3668 eventos informados. En 895 días se informaron dos eventos. En 448 días se informó sólo un evento diario. Del total de días del período se filtraron días en los que no se informaron fenómenos significativos. Como resultado se obtuvieron 2238 casos de eventos posibles de analizar.

La Fig. 2.1 muestra una distribución de eventos diarios, discriminados por tipo, en Argentina continental, durante el período 1998-2005.

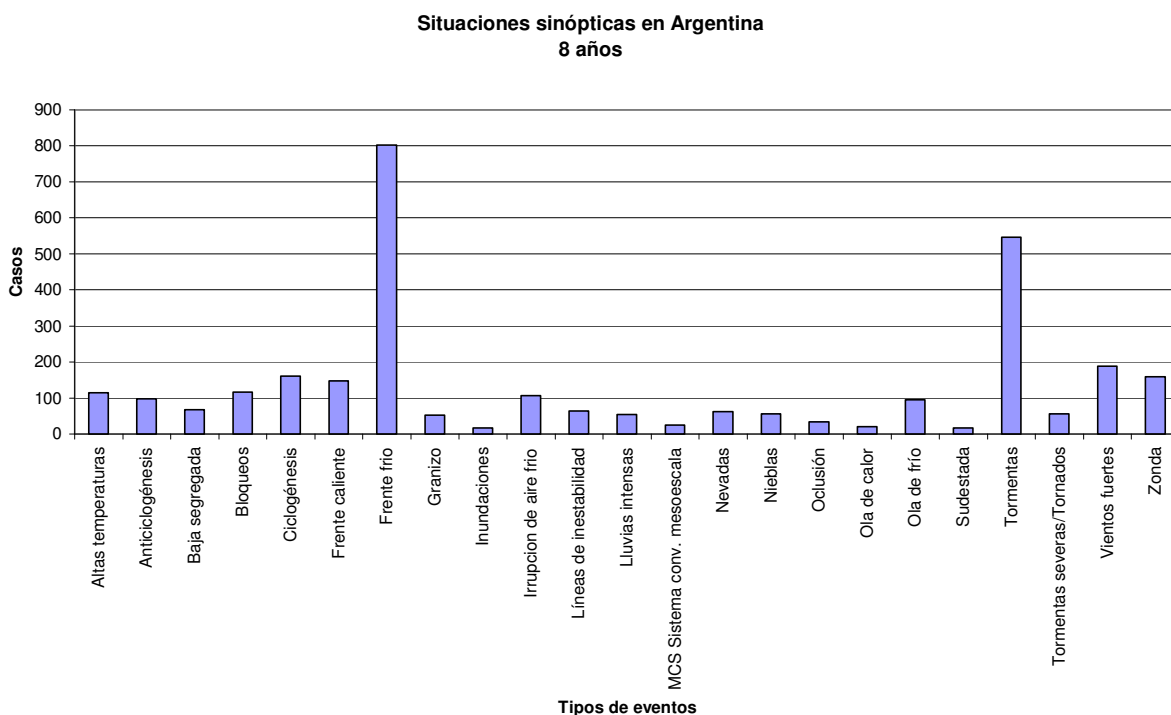


Fig. 2.1 Frecuencia de situaciones sinópticas o tiempos significativos

Si bien no se usó un método objetivo para la definición de cada caso, se consideró que el meteorólogo de turno, con la información disponible, informó los dos eventos más significativos de ese día, con la visión de una persona

ubicada en la ciudad de Buenos Aires, es decir que la serie puede tener un condicionamiento de situaciones que ocurren en el área de influencia de Buenos Aires. Los datos son consignados por diferentes personas todos los días, rotando entre ellos en forma aleatoria, es decir que no tienen un bias por criterio único personal. También esta serie incluye en la asignación de la situación diferentes criterios y experiencias como pronosticador.

Como en muchos casos los eventos sinópticos consignados dejaron afuera otros de menor importancia relativa para ese día, el conteo de casos es sólo indicativo de los eventos más importantes diarios, y constituyen un umbral menor.

Las características que definen cada tipo de evento figuran en **Anexo III**

En la Fig. 2.1 se observa que los frentes fríos son los mayormente informados y le siguen las tormentas.

Sin embargo existen otros eventos informados con menor frecuencia (por ej. lluvias intensas) que se encuentran embebidos en los informes de frentes fríos, tormentas y/o tormentas severas, esto implica que la cantidad de lluvias intensas puede ser mayor.

2.2 Distribución mensual de los eventos

Del total de situaciones consideradas se analizaron las frecuencias mensuales para diferentes tipos de eventos, con 8 años completos de información (1998-2005), dentro del período: lluvias intensas, olas de calor y de frío, tormentas, tormentas severas y tornados, vientos fuertes, viento zonda, ciclogénesis y bloqueos, altas temperaturas y frentes fríos.

Algunas de las situaciones incluyen varios eventos en él, ej: tormentas severas que involucran vientos fuertes, precipitaciones intensas. Es decir que el conteo de casos según una clasificación deja afuera casos de otra clasificación.

Esta dificultad trae como consecuencia la necesidad de rediseñar la toma de datos de eventos meteorológicos y una definición más objetiva para su clasificación.

En las Figs. 2.2 a) a h) se muestran las frecuencias mensuales de casos informados para diferentes eventos, para el período de 8 años.

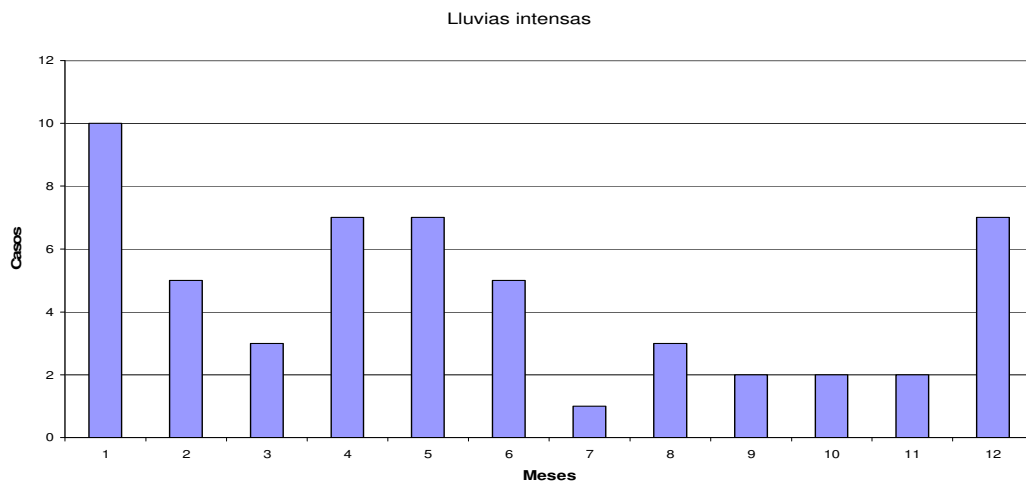


Fig 2.2 a) Lluvias intensas

En la Fig. 2.2 a) se muestran las frecuencias de lluvias intensas con máximos en diciembre y enero debido a la mayor convección en estos meses y máximos relativos en los meses de abril-mayo-junio debido a pasajes de frentes fríos intensos con aire previamente inestable, a bloqueos y a tormentas de masas de aire.

En las Fig. 2.2 b) se muestran las frecuencias absolutas mensuales de olas frío observadas para el período de 8 años, donde se puede ver la coherencia de máximas frecuencias de olas de frío durante los meses junio (Sian, 1970; Escobar y Bischoff, 2001) También se observan olas de frío tardías durante los meses de agosto y septiembre.

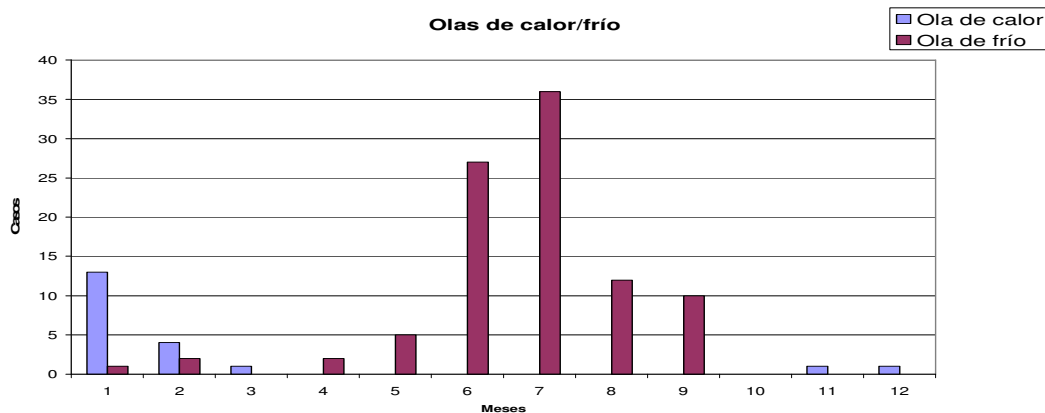


Fig 2.2 b) Olas de calor (azul) y de frío (rojo)

Las olas de calor que se informaron fueron de diciembre a febrero, con un máximo en enero. Este comportamiento coincide con resultados anteriores de otros autores (SMN 1984), Rusticucci y Vargas (1995), Rusticucci (2001), Barrucand (2001).

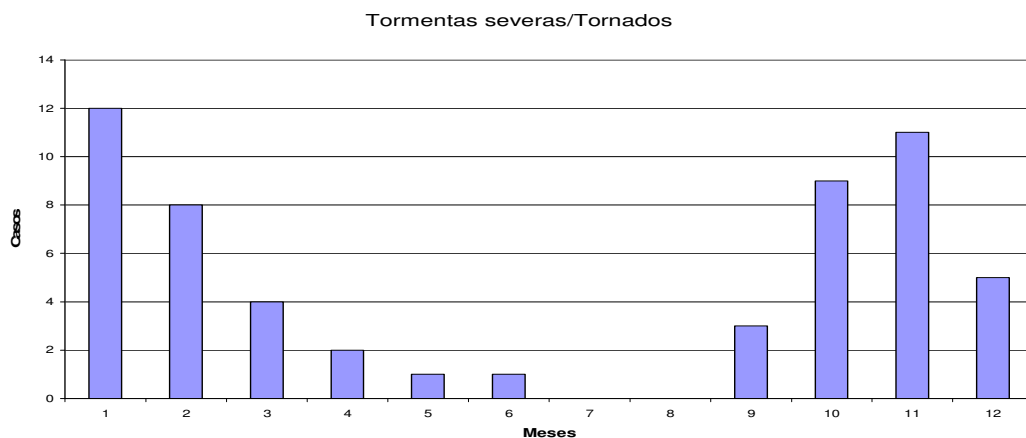


Fig. 2.2 c) Tormentas severas /tornados

Respecto de las tormentas severas, Fig. 2.2 c), se observan dos máximos, uno en el mes de enero durante el verano, por efecto del calentamiento y otro en noviembre durante la primavera, después de la salida del invierno donde todavía está fría la atmósfera superior. (Velasco y Fritsch, 1987).

En la Fig. 2.2 d) se muestran vientos fuertes con un máximo en el mes de octubre. Los vientos fuertes están asociados a excesos de energía cinética por la mayor amplitud térmica diaria y a pasajes de frentes y líneas de inestabilidad. La convección durante la mitad más cálida del año, asociadas a perturbaciones sinópticas, dan lugar a extensas líneas de inestabilidad (Lichtenstein y Altinger, 1970).

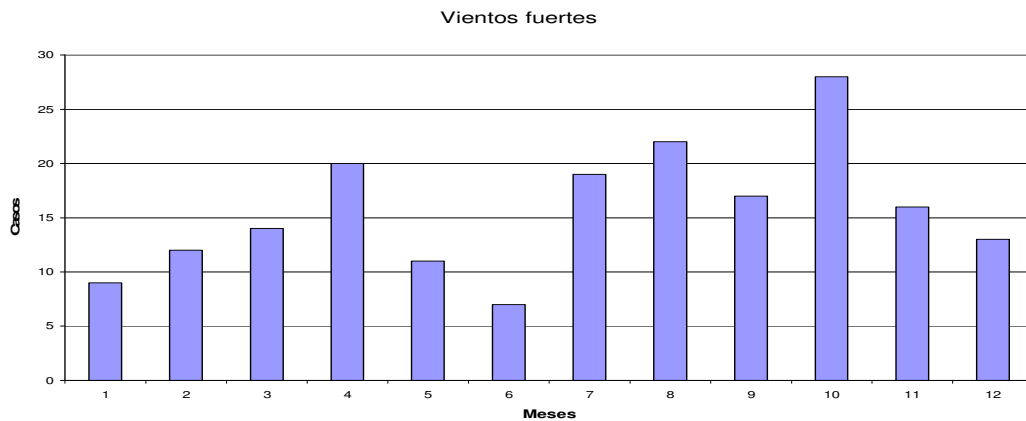


Fig. 2.2 d) Vientos fuertes

En la Fig. 2.2 e) se muestra la frecuencia de viento Zonda, donde se ve una marcada diferencia entre los meses febrero a mayo y los meses junio a noviembre, con un máximo en noviembre. En el período mayo a noviembre los vientos del oeste soplan con gran intensidad y los movimientos ascendentes de origen térmico son débiles o ausentes en el faldeo oriental. Cuando los vientos catabáticos penetran la capa de aire frío sobre superficie, en lugar de deslizarse sobre ella, se produce el viento Zonda. En el período diciembre abril la intensidad de los oestes es menor que en el otro semestre y la radiación solar característica de este semestre origina fuertes movimientos atmosféricos ascendentes en el faldeo oriental de la cordillera que logran neutralizar los movimientos descendentes típicos del viento Zonda (Norte, 1988)

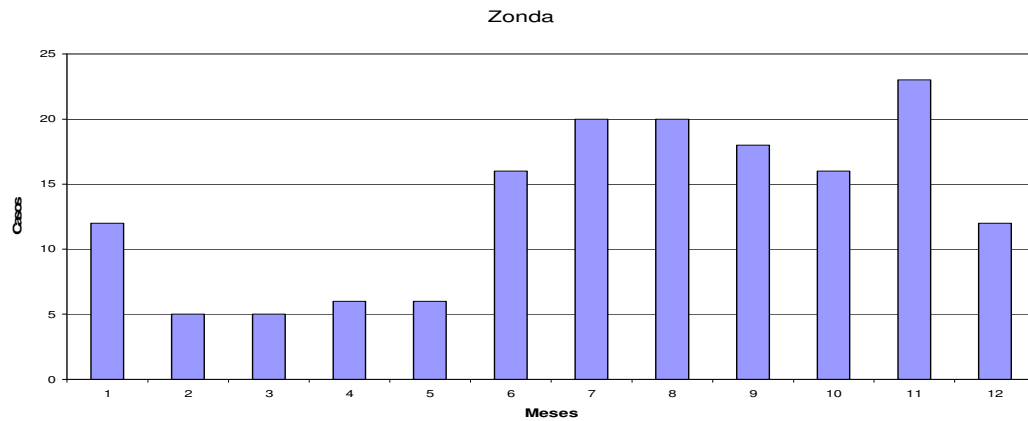


Fig. 2.2 e) Zonda

En la Fig.2.2 f) se muestra la frecuencia de ciclogénesis, con un máximo durante los meses de abril y mayo. La distribución anual de ciclogénesis sigue el mismo patrón que el encontrado por Possía (2004) para ciclones explosivos y Necco (1982), Streten y Troup (1973), Chung (1977). Se verifica comportamiento estacional y baja latitud de ciclogénesis sobre el continente; ciclogénesis en invierno en el Litoral.

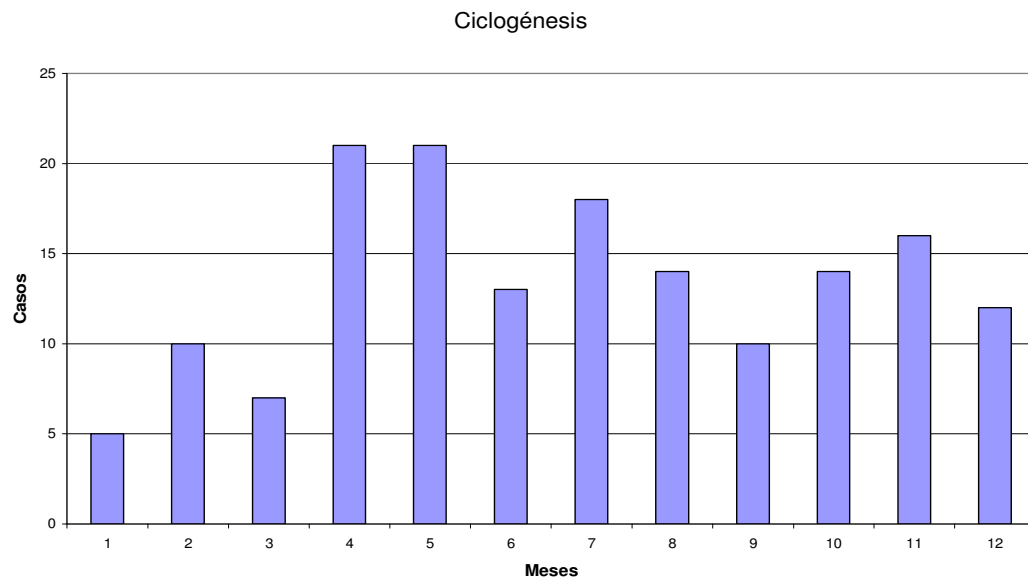


Fig. 2.2 f) Ciclogénesis

La Fig. 2.2 g) muestra la frecuencia de bloqueos en la región sur de América del sur sobre el continente u océanos adyacentes, con un máximo significativo en el mes de mayo. Este resultado coincide parcialmente con lo encontrado por Alessandro (2003) para el período 1989-1998, en longitudes 100° W, 70°W y 40° W.

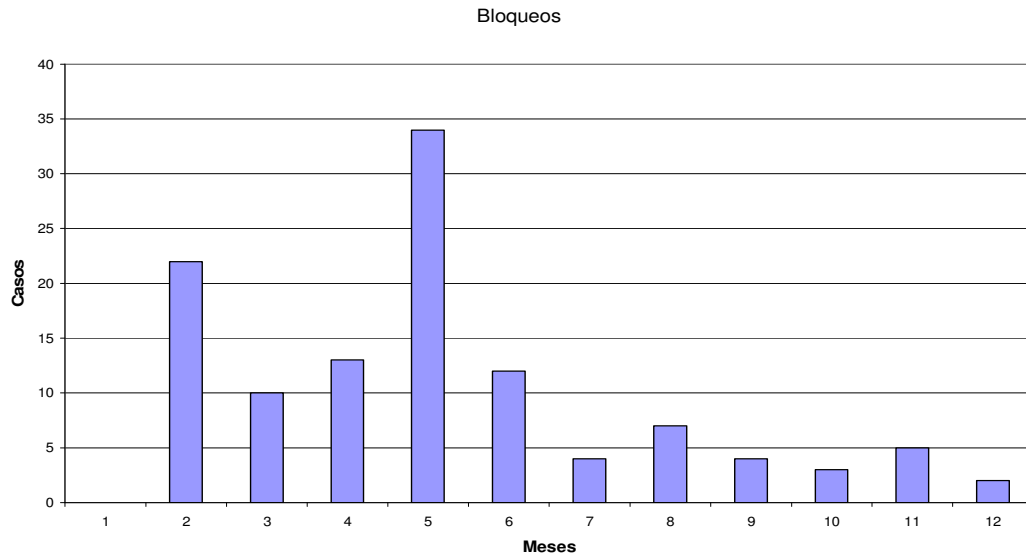


Fig. 2.2 g) Bloqueos

En la Fig. 2.2 h) se muestran las frecuencias de tormentas. La máxima frecuencia se da en el semestre cálido. El mínimo de julio indicaría un fenómeno de baja probabilidad de ocurrencia. Este resultado es concordante con lo encontrado por Sarochar et al. (2003).

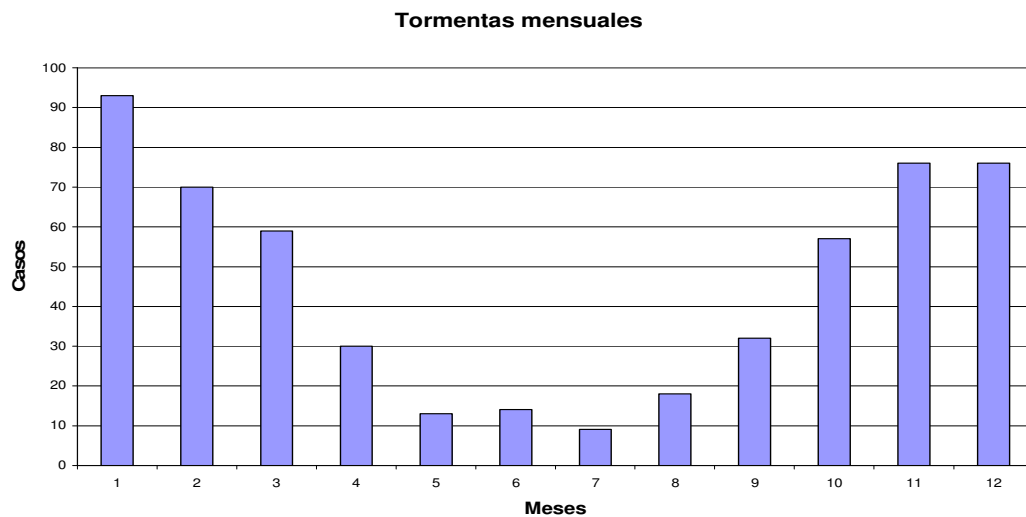


Fig. 2.2 h) Tormentas

Los frentes fríos tienen un máximo en el mes de marzo, sin una apreciable discriminación para los meses del año. Este evento es el más frecuente en todas las épocas del año.

La formación de líneas así como su subsistencia está supeditada a la presencia de una masa de aire húmedo e inestable y su ocurrencia se ve favorecida por el pasaje de una perturbación sinóptica ciclónica (Lichtenstein y Altinger, 1970). En la Fig. 2.3 se muestran la distribución mensual de frecuencia porcentual de casos de líneas de inestabilidad. En el período se informaron 64 líneas. Los

meses de mayor cantidad de líneas de inestabilidad son los meses de noviembre a marzo, con mayor frecuencia en el verano, coincidentemente con lo encontrado por estos autores para la década 1958-1967.



Fig. 2.3 Frecuencia anual de líneas de inestabilidad

2.3 Marcha anual de los eventos

Con el objeto de analizar la variabilidad anual de los eventos sinópticos, según la base de datos descrita, se realizaron las frecuencias anuales de diferentes eventos, si bien se cuenta solamente con 8 años completos (1998-2005) de este tipo de información. Los resultados se muestran en Tabla 2.1.

Tipo de evento	Años										Total Casos
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Altas temperaturas		13	16	10	16	14	23	17	12	7	128
Anticiclógenésis	1	29	20	18	9	8	5	7		7	104
Baja segregada (gota fría)	1	10	9	12	9	13	5	2	7	2	70
Bloqueos	1	28	13	12	8	4	7	18	26	1	118
Ciclogénesis	4	27	24	14	24	16	16	25	12	5	167
Frente caliente	6	17	15	14	20	21	15	16	26	14	164
Frente frío	19	93	108	110	113	113	85	90	94	53	878
Granizo	1	4	6	5	8	9	8	5	14	7	67
Inundaciones		1	1		1	5	4	3	2	1	18
Irrupción de aire frío		15	15	24	7	14	14	6	14	8	117
Líneas de inestabilidad	6	9	11	9	9	5	8	6	3	3	69
Lluvias intensas	1	10	4	11	3	11	6	5	5	7	63
MCS Sistema conv. mesoescala	6	4	2	7	2	1	1	1	1		25
Nevadas		1	9	14	10	8	6	3	11	9	71
Nieblas		11	4	2	9	4	15	6	5	13	69
Oclusión		2	12	1	5	3	2	3	7	2	37
Ola de calor			4		4	3	5	2	2	1	21
Ola de frío		3	17	15	17	14	8	6	15		95
Otros	3	9	8	6	21	18	20	14	7	6	112
Sudestada		3	2	2	5	1			4	1	18
Tormentas	32	55	61	62	80	74	68	65	72	40	609
Tormentas severas/Tornados	2	4	3	13	8	5	6	12	8	7	68
Vientos fuertes	6	35	15	23	24	15	31	20	25	9	203
Zonda	3	10	16	9	17	36	37	18	21	6	173

Tabla 2.1 Frecuencia de eventos anuales

En la Fig 2.4 se muestra, con el fin de poder analizar alguna singularidad, la marcha anual de frentes fríos y tormentas, durante el período estudiado.

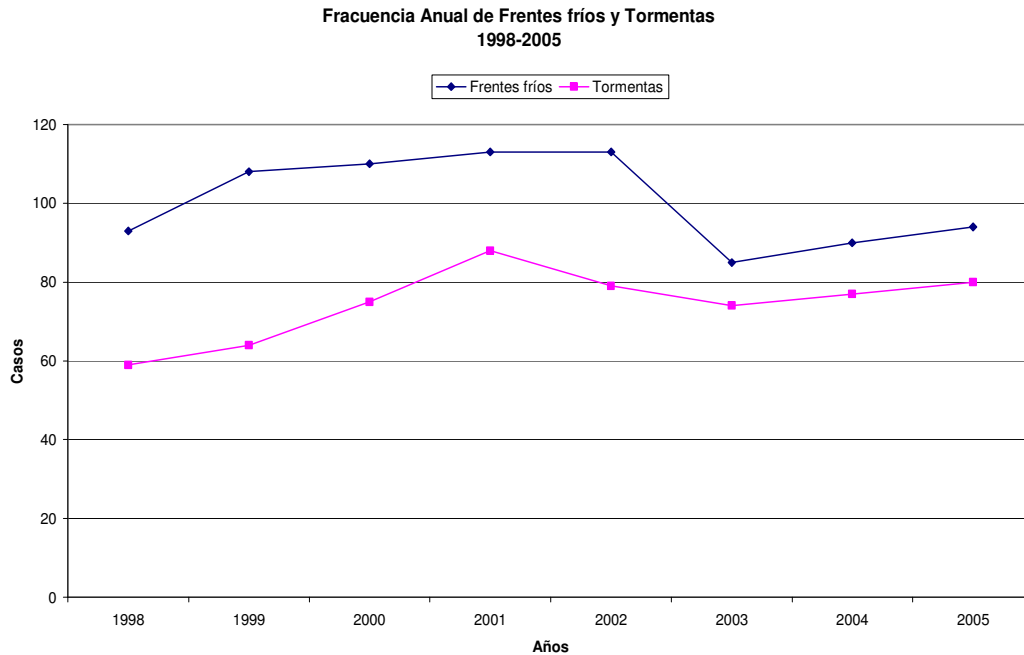


Fig. 2.4 Marcha anual de frentes fríos y tormentas.

Se observa que la marcha anual de frentes fríos presenta un aumento durante los años 1998-2002 y un marcado descenso en el año 2003. Los meses que aportaron mayores diferencias fueron entre marzo y agosto, con la máxima diferencia en el mes de mayo y diferencia menor en el mes de agosto (información no mostrada).

Para analizar la diferencia de cantidad de frentes entre los años 2002 y 2003 se realizaron los mapas medios del geopotencial del mes de mayo, en 500 hPa del 2002 (Fig. 2.5 a)) y del 2003 (Fig. 2.5 b)). En las mismas se observa que en el 2002 el gradiente es mayor para el mes de mayo, asociado a mayor cantidad de frentes.

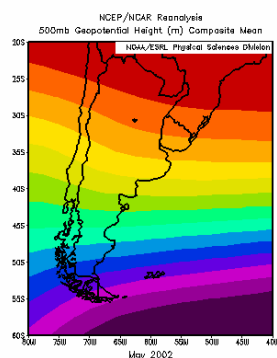


Fig. 2.5 a) Geopotencial 500 hPa may-2002

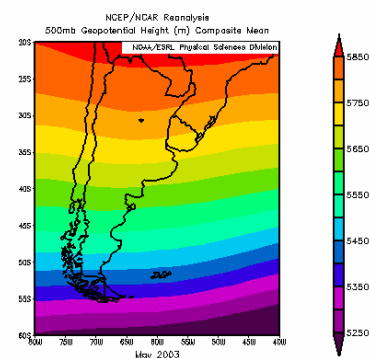


Fig. 2.5 b) Geopotencial 500 hPa may-2003

En las Figs. 2.6 a) y b) se muestran las anomalías del mes de mayo, del geopotencial en 500 hPa del 2002 (a) y del 2003 (b).

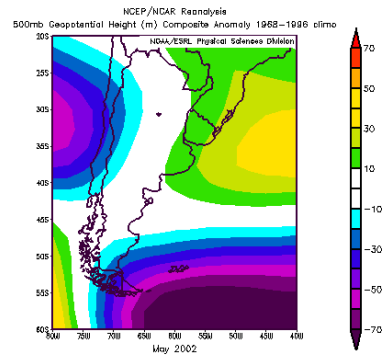


Fig. 2.6 a) Anomalías en 500 hPa may-2002

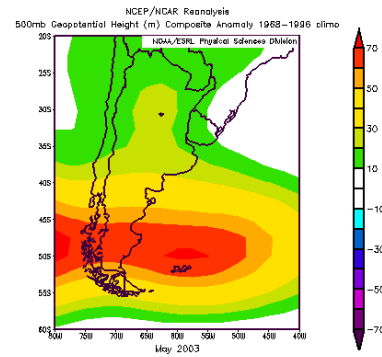


Fig. 2.6 b) Anomalías en 500 hPa may-2003

En las mismas se observan campos opuestos, con un eje de anomalías negativas noroeste-sudeste para 2002 y anomalías positivas para casi todo el país en el 2003.

Para el caso de cantidad de tormentas éstas presentan un máximo en el año 2001 y un mínimo en 1998, para el período estudiado.

En las Figs. 2.7 a) a d) se muestran las anomalías en 500 hPa y 850 hPa, Climo 1958-1996 del NCEP (Kalnay et al., 1996), de los meses con mayor diferencia en el número de tormentas, de enero a marzo, para los años 1998 (izquierda) y 2001 (derecha) en 500 hPa a) y b) y en 850 hPa c) y d).

En los mismos se puede apreciar un campo de anomalías opuestas en 1998 con respecto al año 2001, asociadas a mayor cantidad de frentes en 2001 con mayor producción de tormentas.

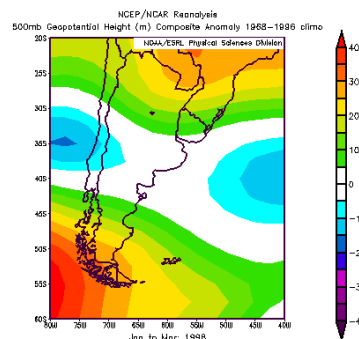


Fig. 2.7 a) anom ene-mar- 500 hPa - 1998

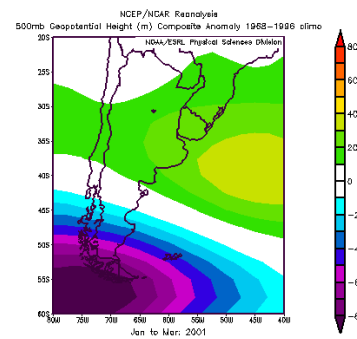


Fig. 2.7 b) anom ene-mar- 500 hPa-2001

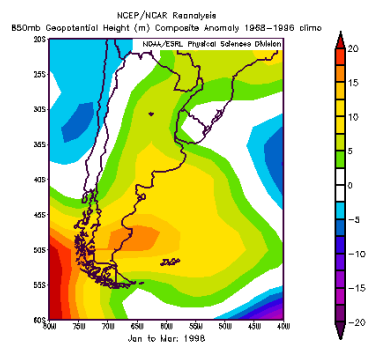


Fig. 2.7 c) anom ene-mar- 850 hPa - 1998

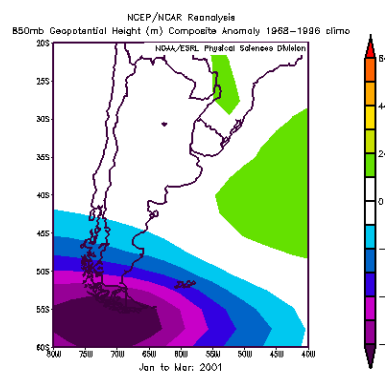


Fig. 2.7 d) anom ene-mar-850 hPa - 2001

Por otro lado se analizaron eventos combinados, los que se entienden como aquellos que ocurrieron en el mismo día en forma destacada, es por eso que fueron seleccionados como las situaciones principales de ese día.

De los casos en que se informaron dos eventos en el día, el principal y el secundario (66.7% de los días), se realizaron las frecuencias de casos para las diferentes combinaciones de dos eventos.

En la Fig 2.8 se muestra la frecuencia relativa de los casos con mayor porcentaje, que en su conjunto implican el 52,4% del total de casos.

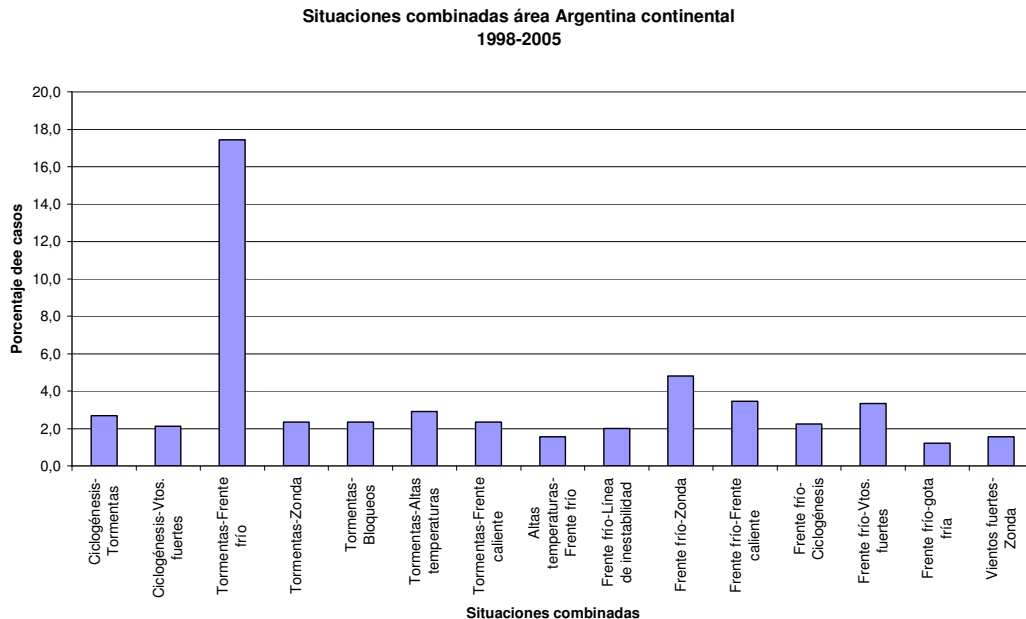


Fig 2.8 Frecuencia relativa de casos de eventos combinados

La mayor probabilidad de casos combinados es la que se da con frentes fríos y tormentas, 17,4% de los casos. Le siguen con mucha menos probabilidad frentes fríos y viento Zonda (4,8%), frente frío y frente caliente (3,5%), frente

frío y vientos fuertes (3,4%) y por último tormentas y altas temperaturas (2,9%).

Conclusiones

Ya se ha mencionado la necesidad de definir objetivamente la clasificación de las situaciones meteorológicas y tiempos significativos pues según la definición de una clasificación deja afuera casos de otra clasificación. Esta dificultad trae como consecuencia otra necesidad que es la de rediseñar la toma de datos de eventos meteorológicos y tiempos significativos.

Climatología sinóptica

- La frecuencia mayor de situaciones sinópticas informadas son los frentes fríos y le siguen las tormentas.
- Las frecuencias de lluvias intensas tienen máximos en diciembre y enero debido a la mayor convección en estos meses y máximos relativos en los meses de abril-mayo-junio debido a pasajes de frentes fríos intensos con aire previamente inestable, por un lado, y a bloqueos y a tormentas de masas de aire.
- Las olas de frío observadas para el período de 8 años presentan su máxima frecuencia durante el mes de junio. También se observan olas de frío tardías durante los meses de agosto y septiembre.
- Las olas de calor que se informaron fueron de diciembre a febrero, con un máximo en enero
- Las tormentas severas presentaron dos máximos, uno en el mes de enero durante el verano, por efecto del calentamiento y otro en noviembre durante la primavera después de la salida del invierno donde todavía está fría la atmósfera superior.
- Los vientos fuertes tuvieron un máximo en el mes de octubre. Los vientos fuertes están asociados a excesos de energía cinética, por la mayor amplitud térmica diaria, y a pasajes de frentes y líneas de inestabilidad.
- La frecuencia de viento Zonda mostró una marcada diferencia entre los meses febrero a mayo y los meses junio a noviembre, con un máximo en noviembre.
- La frecuencia de ciclogénesis tuvo un máximo durante los meses de abril y mayo. Se verificó un comportamiento estacional.
- La frecuencia de bloqueos en la región sur de América del sur sobre el continente u océanos adyacentes tuvo un máximo significativo en el mes de mayo.
- Las máximas frecuencias de tormentas se dieron en el semestre cálido.
- Los frentes fríos tuvieron un máximo en el mes de marzo, sin una apreciable discriminación para los meses del año. Este evento es el más frecuente en todas las épocas del año.
- Los meses de mayor cantidad de líneas de inestabilidad fueron los meses de noviembre a marzo,
- La coincidencia de resultados de esta climatología sinóptica con otros autores, en trabajos anteriores, permite consistir esta base de datos, a

pesar de que la designación de situaciones sinópticas y tiempos significativos no se hizo con un método objetivo.

Marcha anual de las situaciones sinópticas

- Se observó que la marcha anual de frentes fríos presentó un aumento durante los años 1998-2002 y un marcado descenso en el año 2003. Los meses que aportaron mayores diferencias fueron entre marzo y agosto, con la máxima diferencia en el mes de mayo y diferencia menor en el mes de agosto. En el 2002 el gradiente de geopotencial en 500 hPa fue mayor para el mes de mayo, asociado a mayor cantidad de frentes. En las anomalías se observaron campos opuestos, con un eje de anomalías negativas noroeste-sudeste para 2002 y anomalías positivas para casi todo el país en el 2003.
- La marcha anual, para el caso de cantidad de tormentas, presentó un máximo en el año 2001 y un mínimo en 1998, para el período 1998-2005. Durante el año 1998 se consignaron 35 bloqueos mientras que en 2001 sólo 9.

Eventos asociados

- La mayor probabilidad de casos combinados es la que se da con frentes fríos y tormentas, 17,4% de los casos.

Capítulo III. Estudio de las tormentas en la Argentina continental

Para la formación de tormentas se requiere la conjunción de ciertos factores tales como aire inestable, contenido alto de humedad y un mecanismo que genere ascenso del aire hasta el nivel de libre convección.

Varios son los mecanismos productores de la actividad convectiva de las tormentas, los asociados a sistemas frontales, a líneas de inestabilidad o generadas en la misma masa de aire.

Tormentas de masa de aire pueden producirse por efecto de una gran insolación por calentamiento del aire en contacto con el terreno. También pueden darse en zonas costeras sobre el continente, en horas de la tarde, cuando se produce el desplazamiento de aire desde el mar más frío hacia el continente caliente.

El desarrollo de nubes convectivas está determinado en cierto grado por la transformación de la energía cinética de los movimientos convectivos en energía cinética de la turbulencia (Nuñez, M. y M. Nicolini, 1981). En la convección juegan un importante rol las variables dinámicas y termodinámicas: los aportes de humedad y calor, la cortante del viento (Dessens, 1960), el coeficiente de intercambio turbulento y los procesos termodinámicos dentro de la nube. Asimismo las condiciones iniciales en el momento en que se inicia la convección son un factor importante para que se desarrolle o se debilite.

La orografía proporciona a menudo los mecanismos de ascenso necesarios, los que favorecen la generación de actividad convectiva severa. Paegle et al. (1987) estudiaron las variaciones diurnas de las tormentas sobre Argentina, y sugirieron que aún pequeñas pendientes del terreno ejercen controles importantes en la actividad convectiva a través de la generación de convergencia en la capa límite. Proponen que la amplitud del ciclo diurno aumenta al aumentar la intensidad convectiva y que los tornados y las tormentas severas tienen modulaciones diurnas fuertes.

La oscilación diurna está determinada en parte por vientos de gran escala en la capa límite, inducidos por el ciclo solar sobre el terreno ondulado. En las regiones montañosas los movimientos, pendiente arriba en gran escala, en la capa límite, producen convergencia de humedad y convección durante la tarde. Inversamente, los vientos nocturnos que drenan pendiente abajo producen divergencia de humedad desde los picos y convergencia del drenaje adentro de los valles adyacentes en donde las tormentas tienden a producirse durante la noche. Más aún Paegle (1987) ha demostrado que los terrenos con pequeñas pendientes como 1/500 pueden producir campos de divergencia en niveles bajos que son más fuertes que aquellos que se deben típicamente a ciclones de escala sinóptica.

Las tormentas frontales tienen lugar cuando una masa de aire relativamente fría obliga el ascenso de una masa de aire cálido, húmedo e inestable. Dicho proceso ocurre por el ascenso del aire sobre la superficie o pendiente frontal, siendo más frecuentes y más intensas las que se desarrollan como consecuencia del desplazamiento de un frente frío.

En algunas situaciones se desarrolla una línea de tormentas paralela al frente que se conoce como línea de inestabilidad.

El mayor porcentaje de ocurrencia de líneas de inestabilidad en la región central de Argentina se da en presencia de una masa de aire cálida, húmeda e inestable, por delante de un sistema frontal en un campo baroclínico y con entrada de aire frío (Lichtenstein y Altinger, 1970).

Los complejos convectivos de mesoescala (MCC) están frecuentemente asociados a eventos de precipitaciones intensas, fuertes ráfagas de viento y tornados (Velasco y Fritsch, 1987; Vila, 2005).

Los sistemas convectivos son responsables de la mayor parte de la precipitación estival sobre el centro y norte de Argentina y están frecuentemente asociados a la ocurrencia de un Jet de Capas Bajas (LLJ). En los casos en que está presente el LLJ, éste proporciona la advección de aire caliente y húmedo necesario para el desarrollo de MCC's y de tormentas (Salio, y Nicolini, 2005).

La masa de aire caliente y húmeda, del borde sur, es la detonadora de los MCC's por la convergencia fuerte de humedad (Velasco y Fritsch, 1987). Otra característica es la presencia de un jet del oeste en niveles altos, localizado al sur de la posición del MCC. Las circulaciones transversales del jet en niveles altos, acoplado con el jet en niveles bajos (LLJ) son un factor importante en el inicio de los MCC's. La existencia de inestabilidad condicional y convectiva y vaguadas de onda corta en niveles medios de la tropósfera, debe persistir un tiempo suficiente para que los cumulonimbus se inicien y se transformen en un sistema de mesoescala (Nicolini et al., 2002).

En este capítulo se estudia la variabilidad interanual de la cantidad de tormentas y la tendencia, ya que es uno de los eventos más frecuentemente informado entre los tiempos significativos y constituye un elemento del clima muy importante tal que, bajo condiciones extremas, afectan a la vida y bienes de las personas, a los recursos hídricos y a la producción agrícola.

En primer término se hace una evaluación de la ocurrencia de tormentas a nivel general en la parte continental argentina y luego a nivel de puntos particulares ubicados en diferentes zonas del país y su relación con índices de inestabilidad.

3.1 Evaluación de ocurrencia de tormentas en la parte continental argentina

Con el objeto de estudiar las características de las tormentas en el país, se tomaron los informes de tormentas dados por los observadores de toda la red en la Argentina continental, durante los años 1968-2006.

A lo largo de los años, como ya se mencionó, hubo planes de labor que se modificaron, en algunos casos, con más horas de observación y en otros con menos horas de observación, según la estación. De todas las estaciones que se tuvieron en cuenta, algunas informaron menos de 8 horas. También hay que tener en cuenta que las estaciones que no operan durante todo el día pueden perder casos de tormentas que no los consignarán a nivel diario. Por lo tanto el número de tormentas evaluado en este caso es un umbral mínimo.

En un número importante de estaciones se observa 8 o más horas por día, como máximo cada 3 horas. Este observador está en la zona de la estación

durante todo el día, es decir está en condiciones de ver todas las tormentas y consignarlas a nivel diario.

En la Fig. 3.1 se muestra la distribución geográfica de las estaciones consideradas y la cantidad de horas de observación en cada una de ellas.

El número de estaciones que se tomó en esta evaluación, en el período 1968-2006, se mantuvo prácticamente igual.

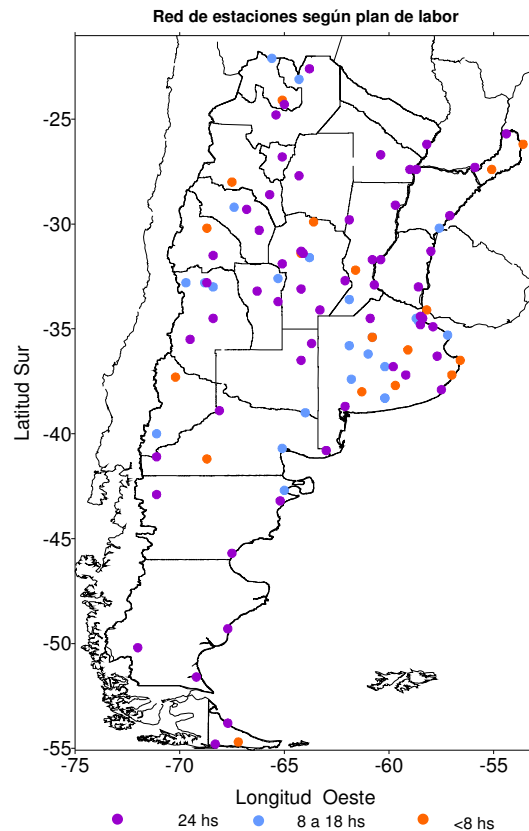


Fig. 3.1 Distribución geográfica de las estaciones y cantidad de horas de observación según plan de labor

Si se contabilizan los días en que en alguna estación del país se consignó tormenta surge que los meses con mayor cantidad de tormentas son los más cálidos, de octubre a marzo.

Los días que se informaron tormentas en algún punto del país fueron entre 260 y 300 días en el año, es decir que entre el 72% y 83% de los días del año se produce al menos una tormenta.

En las Figs. 3.2 a) y b) se muestran las frecuencias anuales medias de días con tormentas para períodos de 17 años, durante 1973-1989 (a) y 1990-2006 (b) y en la Fig. 3.2 c) la diferencia de las dos medias, período 1990-2006 menos período 1973-1989.

La elección de los períodos tuvo en cuenta la variabilidad interanual del número de días con tormentas donde se observó un cambio significativo de los valores medios (no mostrado).

En los períodos analizados se consideraron las estaciones que tenían por lo menos 10 años de observación en cada período. Esta limitación arrojó una cantidad de 120 estaciones.

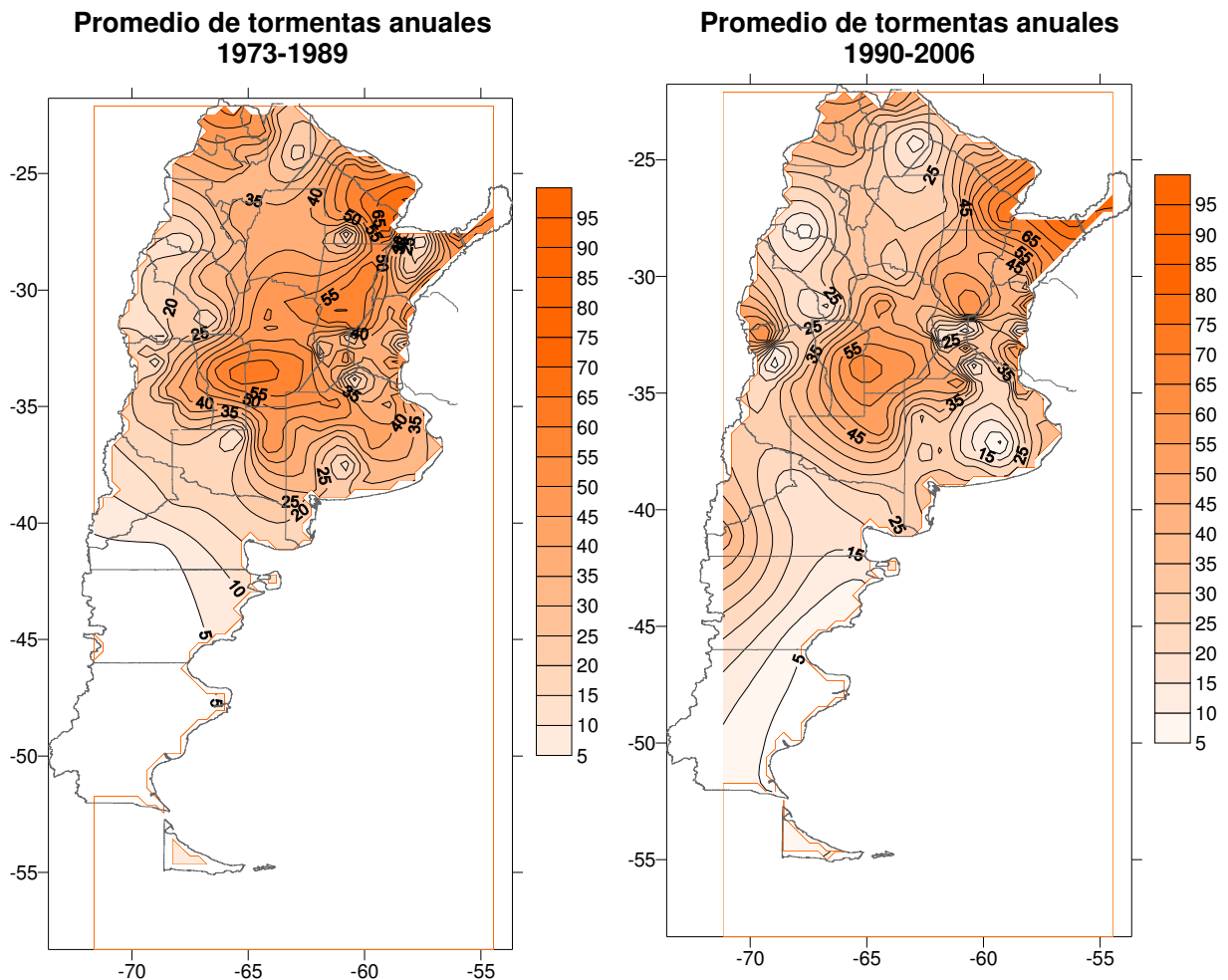


Fig. 3.2 a) Frecuencia anual media de días con tormentas 1973-1989

Fig. 3.2 b) Frecuencia anual media de días con tormentas 1990-2006

En la Figs 3.2 c) se observa un aumento de la cantidad de tormentas en promedio, en el período 1990-2006, en la zona entre 35° y 40° de latitud S, excepto sobre el centro-oeste de la Provincia de Buenos Aires. En esta región hay suficiente cantidad de estaciones que conduciría a pensar que este mínimo es real. El mínimo de Santiago del Estero podría no ser real, producto de la interpolación con un número insuficiente de estaciones.

Se observa un aumento de tormentas al norte de Mendoza y sur de San Juan, norte de Santa Fe, este de Formosa y Chaco, y las Provincias de Corrientes y Misiones.

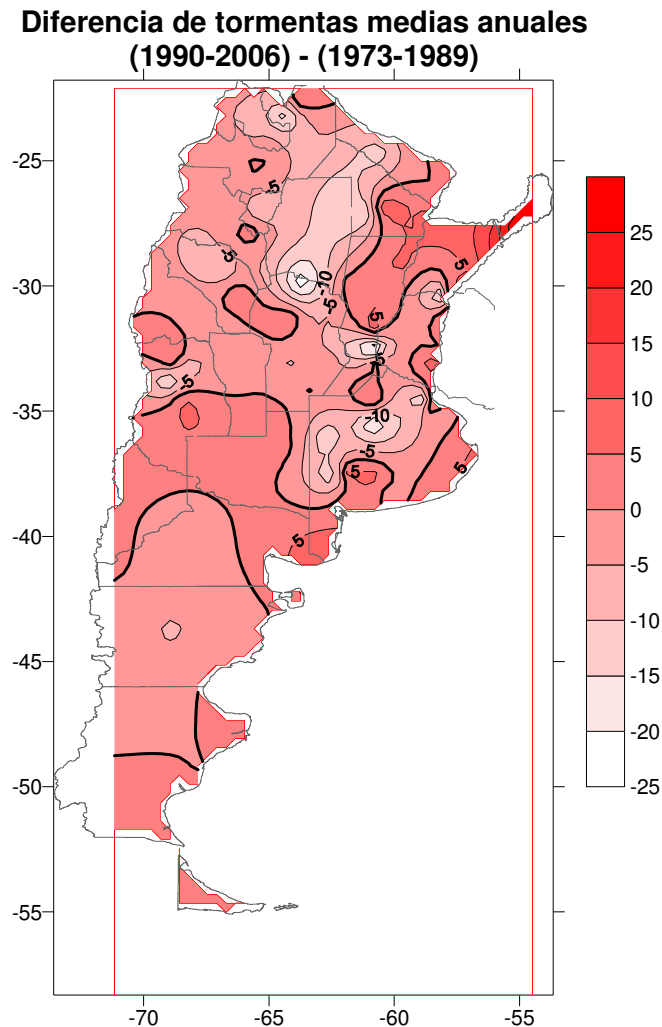


Fig. 3.2 c) Diferencia de promedios de frecuencia anual media de días con tormentas para períodos 1990-2006 y 1973-1989. La línea más gruesa representa el cero.

Para analizar cómo se comportaron las tormentas extendidas espacialmente se calculó la cantidad de días anuales donde por lo menos 30 estaciones de superficie informaron tormentas (Fig. 3.3). Al considerar 30 o más estaciones quedan de manifiesto los días en que el fenómeno era de escala sinóptica o mayor o que había varios sistemas que producían tormentas en el país ese día. Si bien durante un día particular las tormentas van desplazándose lo que hace que más estaciones informen tormentas ese día, este parámetro da idea de tormentas más generalizadas que podrían estar asociadas a frentes desplazándose, a MCC's (complejos convectivos de mesoescala), MCS's (sistemas convectivos de mesoescala) o ciclogénesis.

Si bien podría considerarse que el cambio de observadores podría modificar el número de informes de tormentas, la realidad es que la presencia de tormentas es inconfundible para el observador y no presenta dificultad en el momento de su observación.

Se observa que a partir de 1990 comienza a disminuir el número anual de tormentas extendidas con excepción de los años 1997 y 2002. Estos máximos relativos podrían asociarse a eventos El Niño intensos.

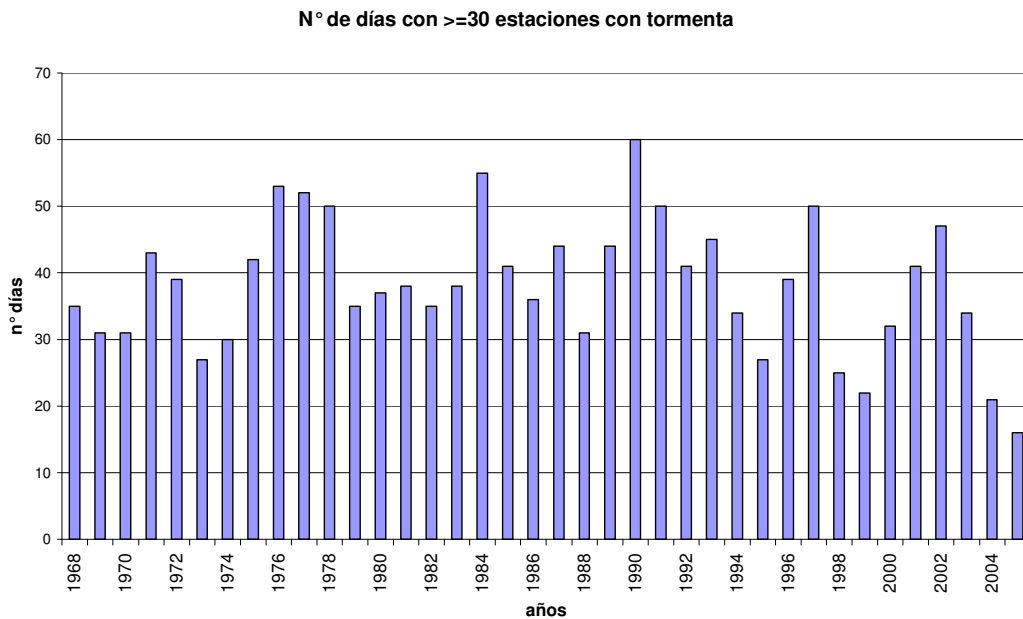


Fig. 3.3 Cantidad de días anuales en los que por lo menos 50 estaciones informaron tormentas.

La disminución de tormentas extendidas podría deberse a cambios en la intensidad y ubicación de las corrientes en chorro de latitudes medias. Berbery y Vera (1996) presentaron evidencia de que el carácter de los transientes es regionalmente dependiente, atribuible a los cambios del estado básico.

En la Figs. 3.4 a) a d) se muestran las anomalías de geopotencial en 300 hPa y 850 hPa, correspondientes al año 1990, con un máximo de tormentas extendidas y al año 2004, con un mínimo de tormentas extendidas. Se observa un corrimiento hacia el sur del cinturón de bajas en el año 2004 respecto del año 1990.

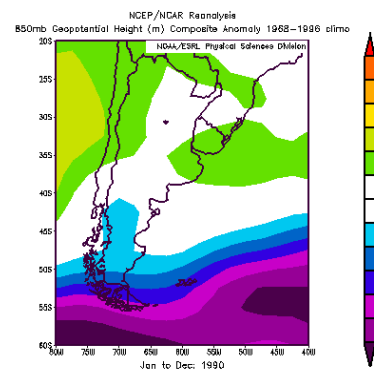
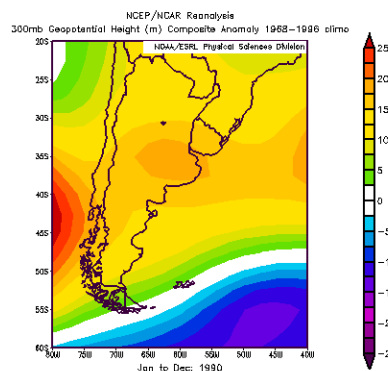


Fig. 3.4 a) Anomalías de geopotencial 300 hPa -1990

Fig. 3.4 b) Anomalías de geopotencial 850 hPa -1990

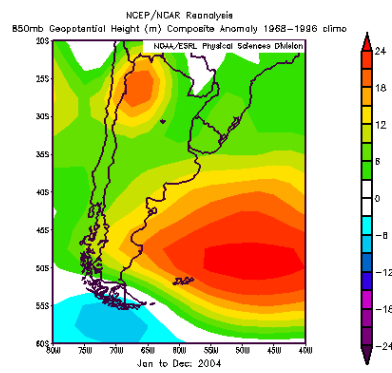
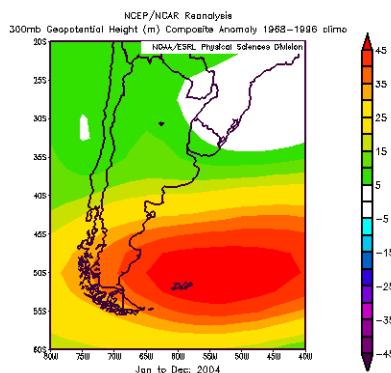


Fig. 3.4 c) Anomalías de geopotencial 300 hPa -2004

Fig. 3.4 d) Anomalías de geopotencial 850 hPa -2004

3.2 Tormentas en puntos de observación particulares

Con el objeto de minimizar las dudas de la información de casos de tormentas con estaciones de diferentes planes de labor, se tomaron estaciones que durante todo el período observaron las 24 horas diarias, es decir que de esta manera se minimiza la ausencia de información de tormentas.

Para componer la base de datos de tormentas se tomaron los días en que la estación había consignado tormenta por lo menos en una observación horaria. En las siguientes secciones se muestran los días anuales con tormentas, en estaciones que observaron 24 horas durante el período 1968-2005, en diferentes regiones del país. De ninguna manera la agrupación de estaciones en cada una de las figuras se puede interpretar como representantes de áreas homogéneas.

3.2.1 Salta. Córdoba y Mendoza

En la Fig. 3.5 se muestran el número de tormentas anuales para las estaciones Salta Aero, Córdoba Aero y Mendoza Aero.

En **Córdoba**, en el período 1984-1997, se observa mayor cantidad de tormentas respecto de período anterior, en algunos años del orden del 15%. A partir de 1998 se observa una disminución alcanzando valores similares a los del comienzo del período de análisis. La tendencia en el período es positiva, con un crecimiento de 2 tormentas por año.

Tal como se muestra en Coronel (2001), la frecuencia de las masas de aire extremas cálidas, durante el verano, tiene un mínimo a partir de 1987 coincidente con un máximo de tormentas anuales. Esto podría deberse a que esas masas de aires, si bien pocas, fueron muy inestables, ya que produjeron precipitaciones anuales con valores superiores al período anterior.

En **Salta** en el período 1979-2001 se observan máximos de tormentas anuales con valores no alcanzados en el resto del período de análisis. En los años posteriores se observa una disminución del número de tormentas.

En **Mendoza** se observa un aumento de tormentas anuales en el período 1980-1998, como así también un aumento en la variabilidad. En el período posterior

se observa una disminución en el número de tormentas. Este comportamiento podría relacionarse con los resultados encontrados por Agosta (2006) en la precipitación de verano, en la región de Cuyo. El encuentra un cambio en el comportamiento de la baja frecuencia del índice de precipitación COA, en el verano 1976/1977. A partir del verano 1999/2000 la precipitación parece haber sufrido un nuevo cambio con valores que se mantienen normales o por debajo de ellos. Estos cambios mencionados están asociados a cambios en la circulación atmosférica en escala regional.

Es interesante observar que en las estaciones Córdoba y Salta el número de tormentas tiene un ciclo en el período, mientras que en Mendoza se muestran dos ciclos, representando dos comportamientos regionales diferentes.

En todos los casos las tendencias calculadas son positivas, siendo la más importante Mendoza, con 2,2 tormentas cada 10 años.

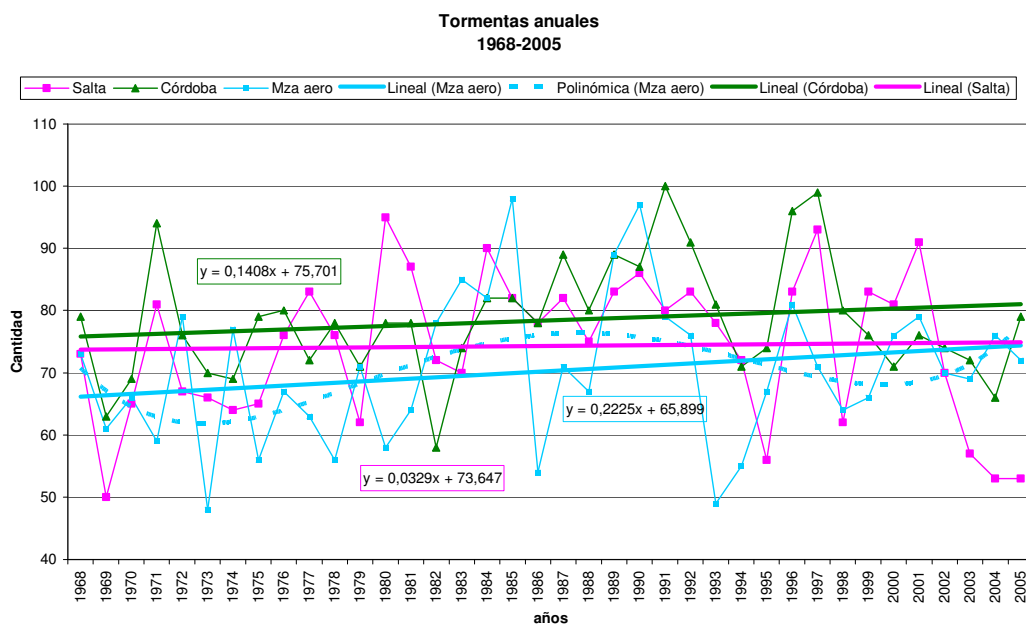


Fig 3.5 Tormentas anuales en Salta Aero, Córdoba Aero y Mendoza Aero.

3.2.2. Resistencia, Posadas, Iguazú y Paso de los Libres.

En la Fig. 3.7 se muestra el número de tormentas anuales para las estaciones Resistencia, Posadas, Iguazú y Paso de los Libres, cuya ubicación geográfica se muestra en la Fig. 3.6.

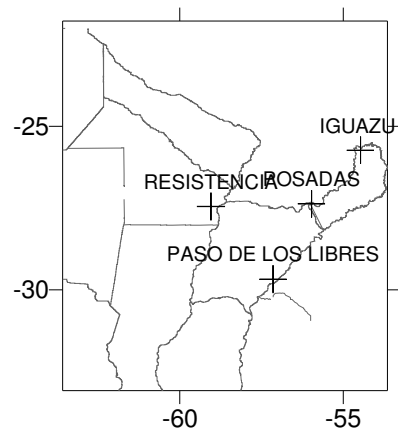


Fig. 3.6 Ubicación de las estaciones

Haciendo referencia a las tendencias del número de tormentas anuales, todas ellas son positivas y la de mayor pendiente es Iguazú, con un aumento cada 10 años de 18,3 tormentas, aumento significativo al 99%, y le sigue Posadas con 7 tormentas más en 10 años.

De la observación de la Fig. 3.7 se destacan las siguientes características: Paso de los Libres e Iguazú se comportan en forma similar entre sí y de manera apreciablemente diferente a Posadas y Resistencia desde el comienzo del período de análisis hasta el año 1982; durante este período estas dos últimas estaciones tienen un mayor número de tormentas anuales, del orden del doble; a partir de 1982 las cuatro estaciones muestran un comportamiento más homogéneo en el número anual de tormentas hasta 1995, desde allí Paso de los Libres disminuye apreciablemente esta frecuencia.

Todas disminuyen entre 1990 y 1995, luego aumentan hasta el 2002 para decaer al final del período. Esto indica un comportamiento regional para esta zona del Litoral.

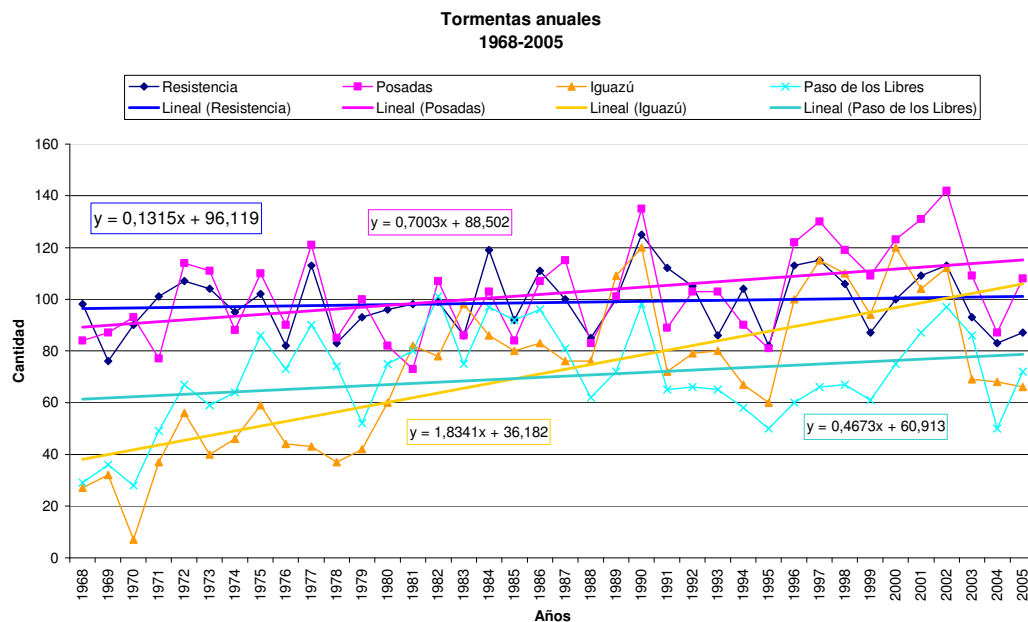


Fig. 3.7 Tormentas anuales en Resistencia, Posadas, Iguazú y Paso de los Libres

El comportamiento observado anterior y posterior a 1982 entre Resistencia y Posadas, por un lado, respecto de Iguazú y Paso de los Libres, por otro, podría estar asociado a cambios locales en variables que conducen a la formación de tormentas. El estudio de estos procesos no forma parte del objetivo de esta Tesis, pero sí forma parte de estudios posteriores.

3.2.3 Aeroparque, Ezeiza y Buenos Aires

En la Fig. 3.9 se muestran las tormentas anuales en las estaciones Aeroparque, Ezeiza y Buenos Aires. En ninguna de ellas se ve una tendencia positiva significativa en la cantidad de tormentas para todo el período. Durante el período 1994 hasta 2003 se observó el mayor aumento del número de tormentas. Los máximos observados entre 2000 y 2003 son los máximos absolutos de la serie para todas las estaciones. Durante los años 2004 a 2006 se observa una disminución de tormentas.

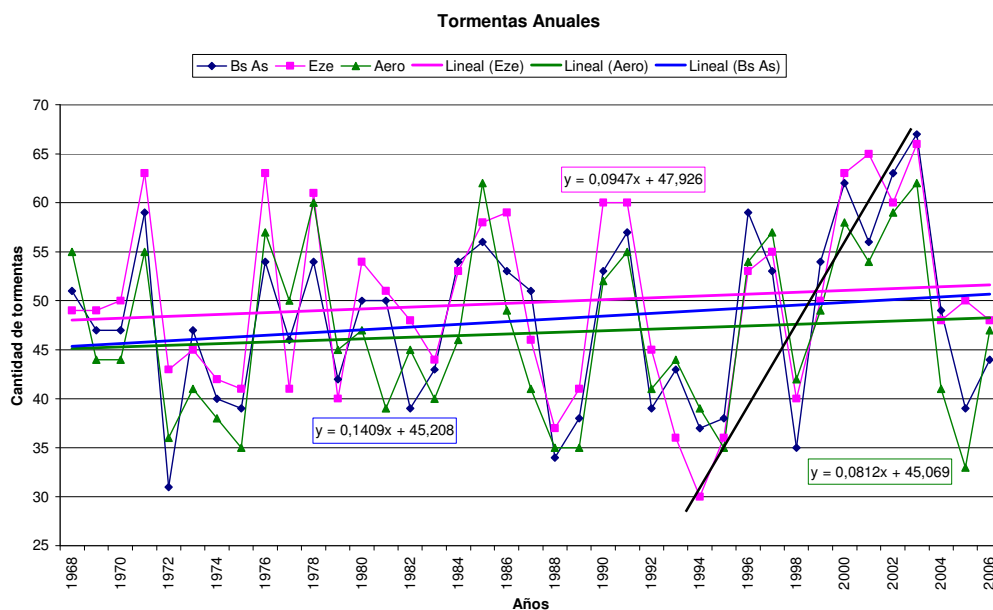
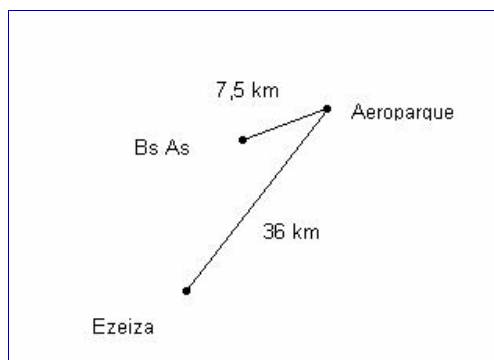


Fig. 3.9 Tormentas anuales en Aeroparque, Ezeiza, Buenos Aires y Rosario

Se observa un crecimiento más rápido del número de tormentas en Buenos Aires (1,4 tormentas en 10 años) respecto de Ezeiza y Aeroparque. Esto podría asociarse al efecto urbano de la Ciudad de Buenos Aires.

Si bien se observa un comportamiento homogéneo temporal, se puede calcular la diferencia de tormentas registradas por pares de estaciones. Podemos ver la posición relativa entre ellas en el siguiente croquis.



En la Fig. 3.10 se muestran las diferencias anuales de eventos de tormentas en cada par de estaciones, Ezeiza-Buenos Aires, Ezeiza-Aeroparque y Aeroparque-Buenos Aires.

La cantidad de tormentas en Ezeiza es mayor que en Buenos Aires (66% de los años) y Aeroparque (79%), excepto en años aislados y en una secuencia del 1993-1996.

Cuando se analiza la diferencia de Aeroparque menos Buenos Aires, en el 63% de los casos esa diferencia es negativa, lo que indica que en Buenos Aires se observan mayor número de tormentas anuales. En el conjunto estas diferencias oscilan en ± 5 tormentas por año, alcanzando diferencias de -10 tormentas en años particulares.

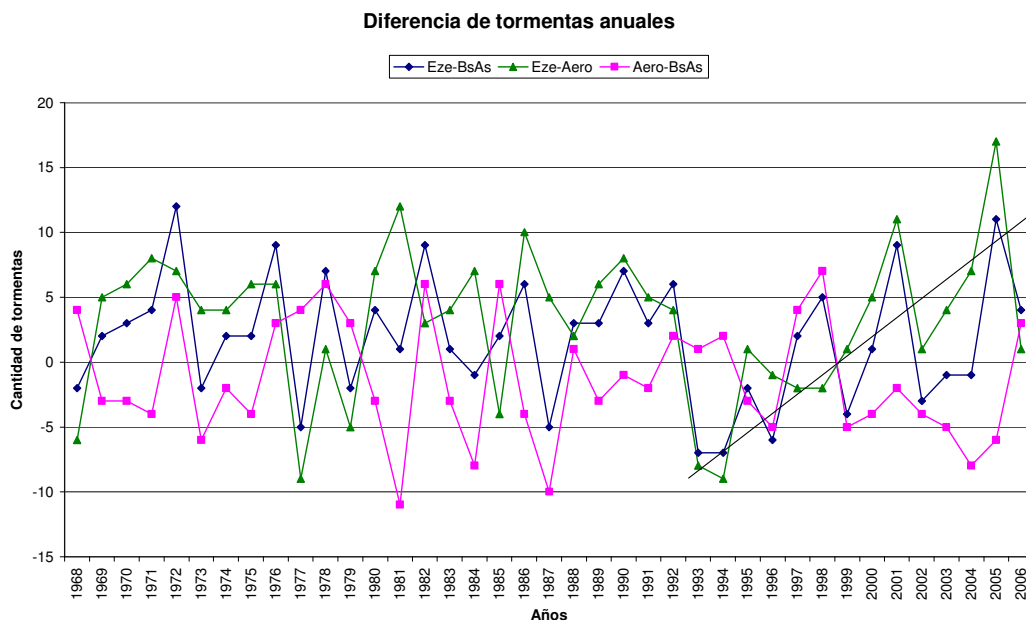


Fig 3.10 Diferencias de número de días con tormentas entre Ezeiza, Aeroparque y Buenos Aires

Las diferencias representan entre el 10% y 30% del número de tormentas anuales. Esta diferencia alcanzó su máximo valor en el año 2005, Ezeiza informó el 30% más tormentas que Aeroparque.

La justificación del porqué las tormentas en Ezeiza son mayores que en Aeroparque y Buenos Aires queda abierto a futuros estudios, posiblemente con el seguimiento de las tormentas con imagen de radar.

3.2.4 Neuquén

En la Fig. 3.11 se muestran el número anual de tormentas en la estación Neuquén donde se ve un salto en la cantidad de tormentas en el año 1997. La tendencia hasta ese momento era negativa y después de 1997 vuelve a ser marcadamente negativa, con mínimo en el 2003. Este salto coincide con la ocurrencia de un fenómeno de El Niño intenso, el que podría haber favorecido un cambio de circulación en la región, produciendo un notable aumento de tormentas.

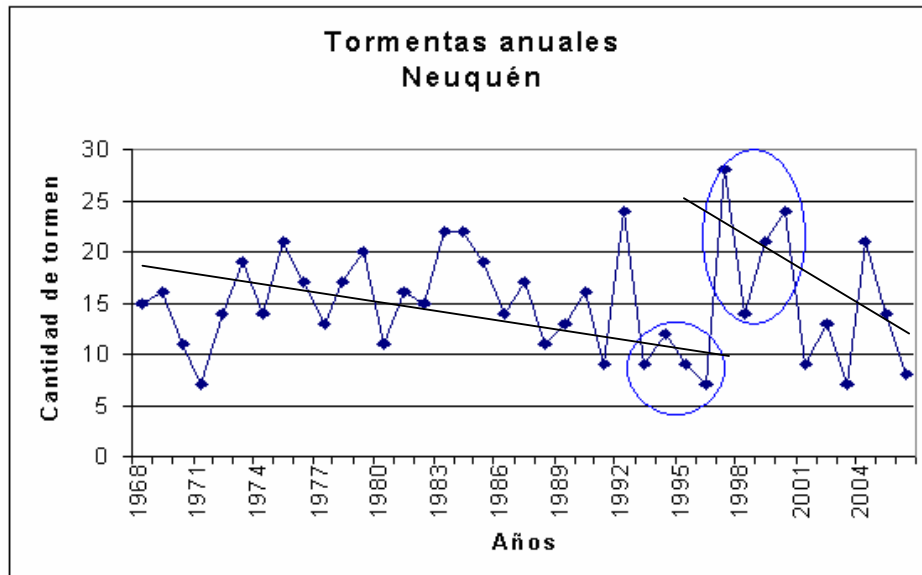


Fig. 3.11 Tormentas anuales en Neuquén

Con el objeto de analizar la circulación en años anteriores y posteriores al salto, se calcularon los promedios de las anomalías en 500 hPa durante dos períodos de 4 años, 1993-1996 (Fig. 3.12 a)) y 1997-2000 (Fig. 3.12 b)), para el trimestre enero-marzo, teniendo en cuenta que los meses que aportan tormentas mayoritariamente, en Neuquén, son de octubre a marzo.

En los mismos se observa un cambio de circulación, con anomalías medias indicando flujo anómalo del sudoeste para el período 1993-1996 y, en cambio, para el período 1997-2000 un flujo anómalo del este, con mayor aporte de humedad en la región de Neuquén.

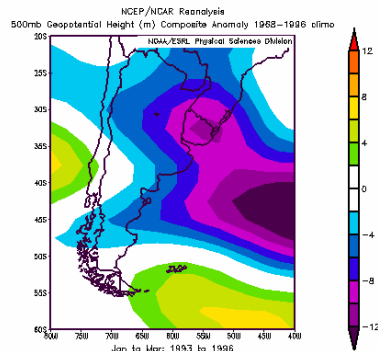


Fig. 3.12 a) Anomalías de alturas geopotenciales en 500 hPa, 1993-1996, ene-mar

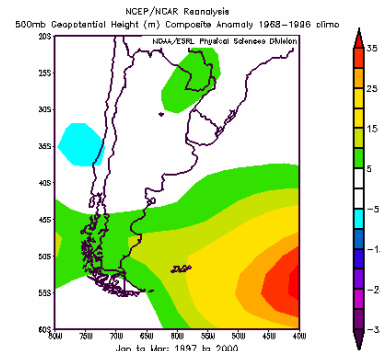


Fig. 3.12 b) Anomalías de alturas geopotenciales en 500 hPa, 1997-2000, ene-mar

3.2.5 General Pico, Córdoba Aero y Mar del Plata

En la Fig. 3.13 se muestran el número anual de tormentas en las estaciones General Pico, Córdoba Aero y Mar del Plata Aero. En este gráfico se incorpora Córdoba, si bien ya fue analizada con anterioridad, a los efectos de comparar el diferente comportamiento de General Pico.

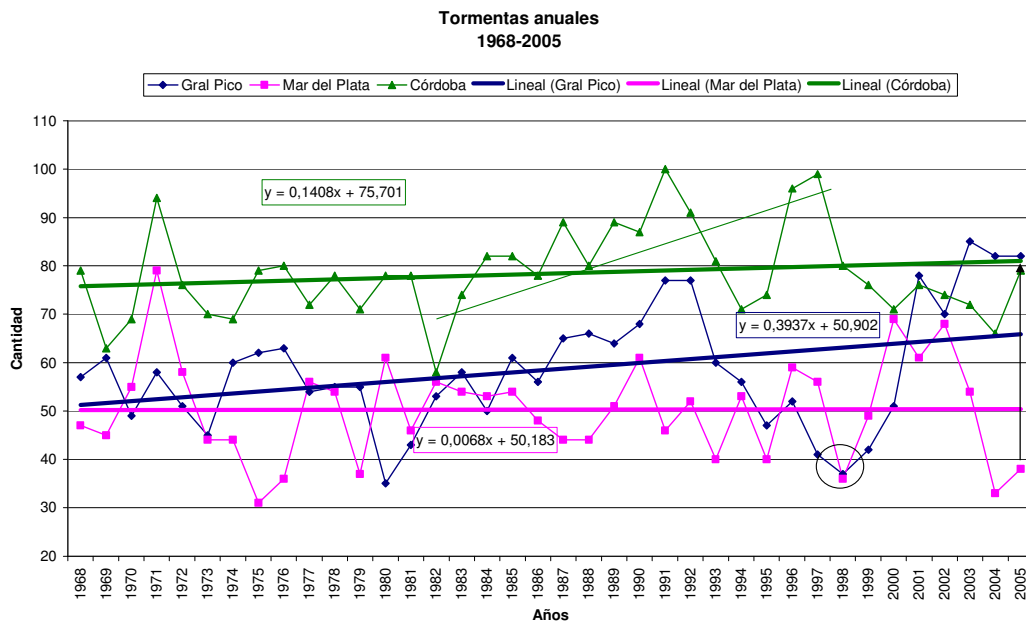


Fig. 3.13 Tormentas anuales en General Pico, Córdoba y Mar del Plata.

En Mar del Plata prácticamente no se observan tendencias temporales del número de tormentas anuales pero sí aumento de la variabilidad al final del período, similar a la que ocurría al principio del mismo.

En General Pico se observa una tendencia temporal en el número de días con 3,9 tormentas cada 10 años, significativa al 94%.

Las diferencias entre Mar del Plata, estación costera, y General Pico, estación continental, podrían asociarse a la diferente disponibilidad de humedad, como un factor importante en el desarrollo de tormentas.

Si además las condiciones dinámicas fueran las mismas en ambos lugares, se podría esperar mayor número de tormentas en Mar del Plata. Sin embargo, hay que tener en cuenta otras fuentes de transporte de humedad en General Pico, como el aporte de humedad meridional de capas bajas encontrado por Doyle y Barros (2002); Salio y Nicolini (2005), Nicolini et al. (2002). En estos casos es posible esperar mayor número de tormentas en General Pico que en Mar del Plata como ocurrió en 1974-1976 y 1985-1993. En estos períodos General Pico sigue un patrón similar al de Córdoba Aero y fuera de ellos se comporta en forma similar a Mar del Plata.

En las Figs. 3.14 a) a b) se observan las anomalías anuales de geopotencial en 850 hPa, para los años 1998 y 2005. La elección de estos años responde a que durante 1998 el número de tormentas anuales en General Pico fue igual que en Mar del Plata, y en 2005 se registra la mayor diferencia, aproximadamente 40 tormentas más en General Pico, duplicando el valor de Mar del Plata.

En el año 1998, donde coinciden General Pico y Mar del Plata (círculo en Fig. 3.13), se observan las anomalías más intensas con flujo anómalo del ESE, sometidas a advección de humedad del Atlántico, en la zona de Mar del Plata, General Pico y toda la Provincia de Buenos Aires.

Durante 2005 se aparta General Pico y se asemeja a Córdoba (flecha en Fig. 3.13). El campo de anomalías es menos perturbado en la región de análisis y el viento anómalo débil es del NNE.

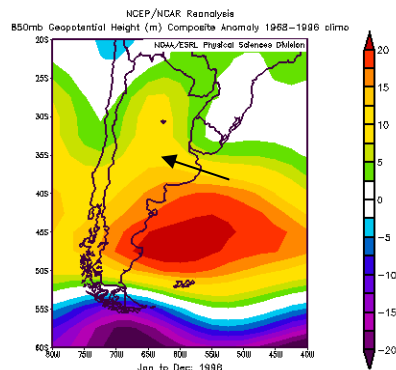


Fig. 3.14 a) Anomalías de geopotencial en 850 hPa- 1998

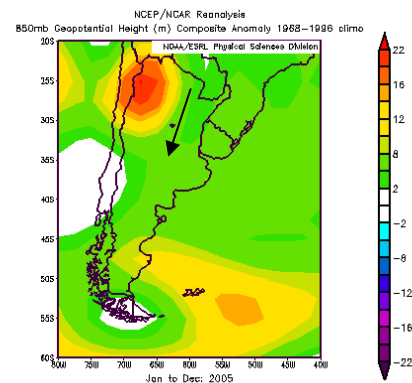


Fig 3.14 b) Anomalías de geopotencial en 850 hPa- 2005

3.3 Significancia de las tendencias de frecuencia interanual de tormentas.

A modo de resumen se sintetiza la información de las tendencias de la variabilidad interanual del número anual de tormentas.

Estación	Tendencia
Salta	0,0329
Córdoba	0,1408
Mendoza Aero	0,2225
Resistencia	0,1174
Posadas	0,5796
Iguazú	1,7081
Paso de los Libres	0,8121
Gral Pico	0,3937
Mar del Plata	0,0068
Aeroparque	0,0812
Ezeiza	0,0947
Buenos Aires	0,1409
Rosario	0,026
Comodoro Rivadavia	0,0240
Neuquén	0,1022

Para todas las estaciones estudiadas la tendencia fue positiva.

Con el objeto de verificar si las pendientes eran significativas se les aplicó el test de Mann Kendall a los datos de tormentas de 38 años, para cada estación. En la Fig. 3.15 se muestra una distribución geográfica de la tendencia de la cantidad anual de tormentas. En azul valores de tendencia significativa según Test de Kendall Tau.

En el mismo se observa que el noreste de nuestro país, más precisamente la provincia de Misiones, muestra un aumento significativo. Los valores de la tendencia en Posadas fueron significativos para un nivel de significancia del 95%, Iguazú para un nivel del 99% y General Pico para un nivel del 94%.

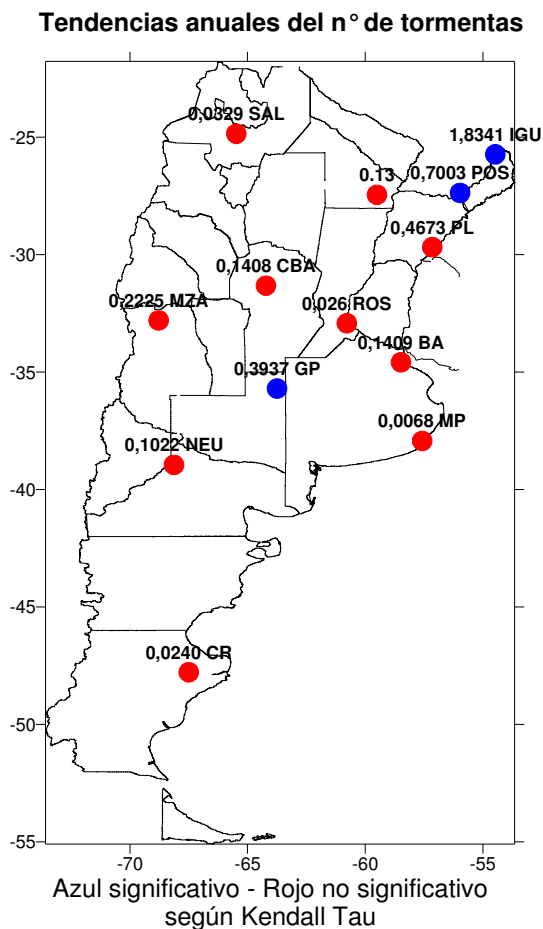


Fig. 3.15 Distribución geográfica de los valores de tendencia de cantidad anual de tormentas

3.4 Periodogramas del número de tormentas anuales

Con el número de tormentas anuales durante 38 años (1968-2005) se hizo un análisis armónico cuyos resultados se muestran en los periodogramas en Figs. 3.16 a) a h).

En los mismos se observan los porcentajes de varianza explicada de la cantidad de tormentas anuales de 8 estaciones, guardando una correspondencia por zonas geográficas.

En la Fig. 3.16 a) se muestra el periodograma de la estación General Pico con un máximo para la longitud del armónico alrededor de 13. Otro máximo relativo para 4 años, lo que podría asociarse a eventos El Niño y otro máximo relativo para 2 años lo que correspondería a la variabilidad interanual.

En la Fig. 3.16 b) se muestra el caso de la estación Mar del Plata con máximos en 6-9 años y 3 años aproximadamente.

De las figuras anteriores se puede concluir que el régimen interanual del número de tormentas para ambas estaciones no es el mismo, a pesar de encontrarse, aproximadamente, a 750 km entre sí, sobre una línea orientada noroeste-sudeste, coincidente con la orientación del pasaje de frentes fríos (Berbery y Vera, 1996).

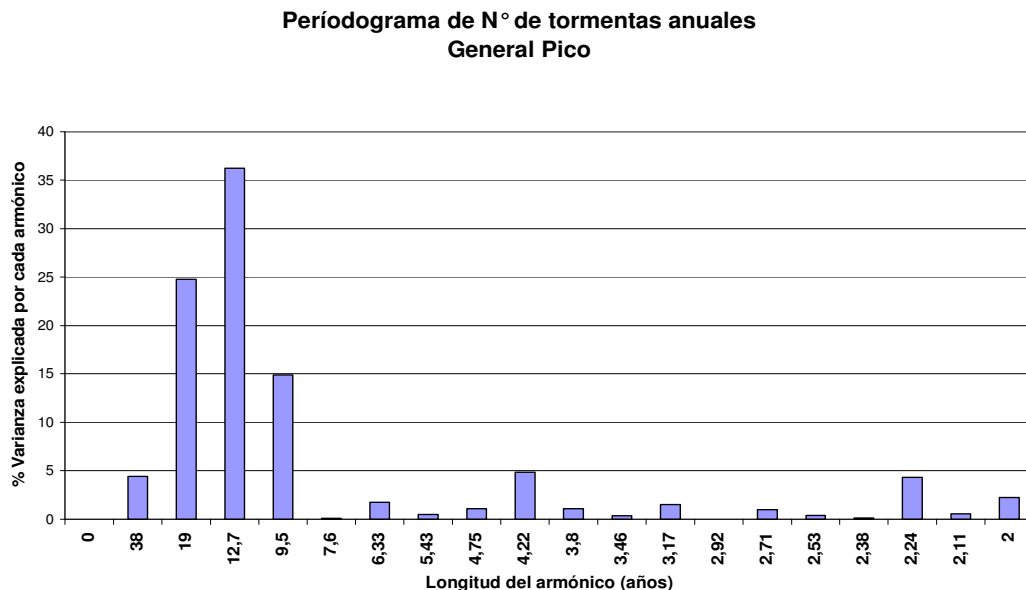


Fig. 3.16 a) Periodograma del número de tormentas anuales - General Pico

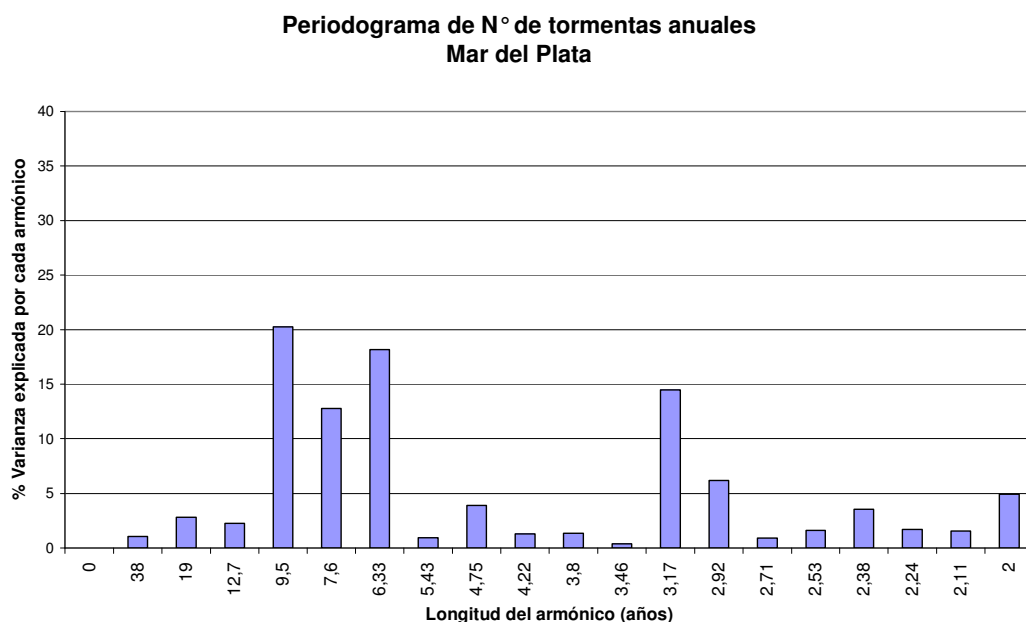


Fig. 3.16 b) Periodograma del número de tormentas anuales - Mar del Plata

Las Figs. 3.16 c) y d) muestran los periodogramas para Neuquén y Mendoza. Ambas estaciones, recostadas sobre la cordillera de los Andes. En ambos casos se observan máximos de varianza explicada, que no superan el 17%, alrededor de los 19 años.

Agosta (2006) encontró una fluctuación de alrededor de 18 años en el régimen de precipitación estival en la región de Cuyo, desde comienzos del siglo XX hasta mediados de la década del '70, que está reflejada en el correlograma de la Fig. 3.16 c) d).

Un segundo máximo se encuentra entre los 6 y 9 años, con varianzas del mismo orden.

En Mendoza se encuentra una marcada variabilidad interanual en el número de tormentas, aunque con varianzas pequeñas que no superan el 11%.

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Neuquén**

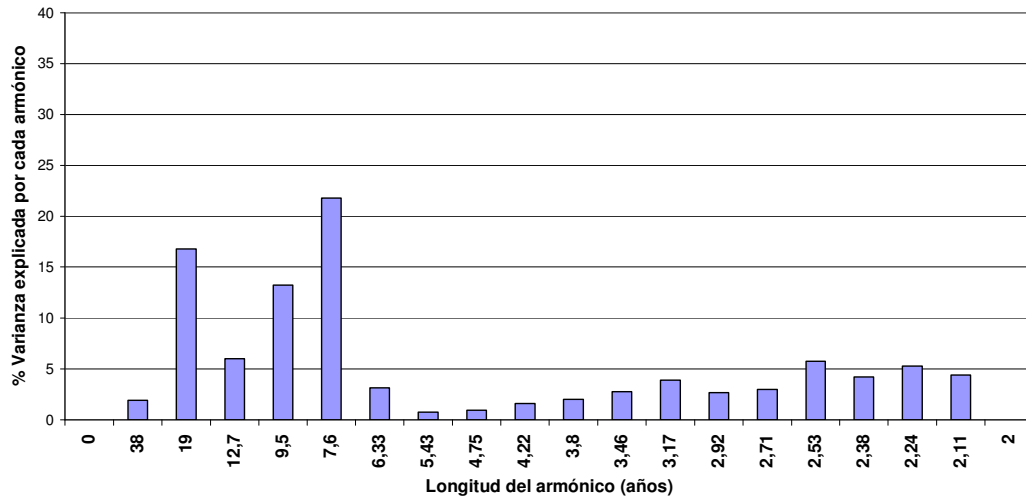


Fig. 3.16 c) Periodograma del número de tormentas anuales - Neuquén

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Mendoza Aero**

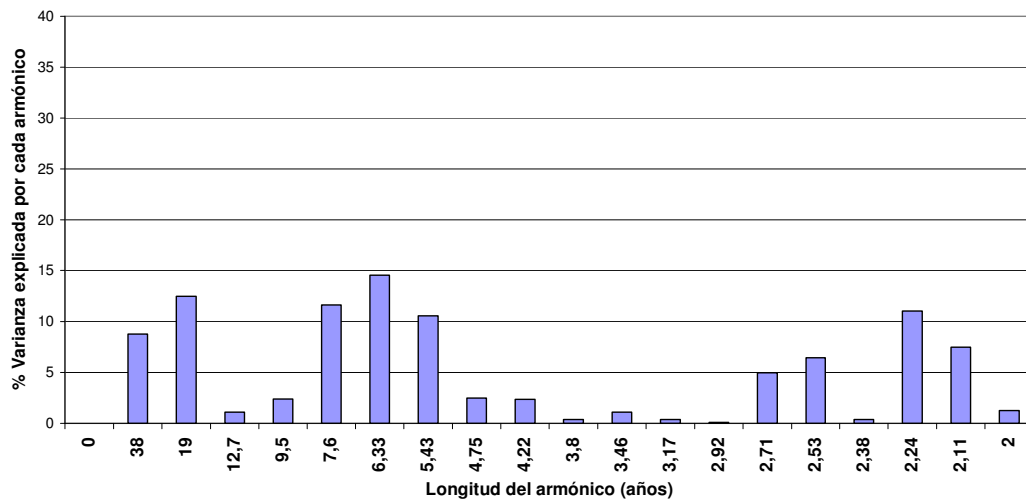


Fig. 3.16 d) Periodograma del número de tormentas anuales - Mendoza

En las Figs. 3.16 e) y f) se muestran los periodogramas para las estaciones Iguazú y Posadas.

En Iguazú predominan las ondas largas asociadas a ondas de 38, 9 y 6 años, donde la primera es un indicador de la fuerte tendencia. Otro máximo relativo se observa para una longitud de onda de aproximadamente 4 años, que podría asociarse a eventos El Niño.

Posadas, en cambio, muestra sus máximas varianzas del orden del 10%, para períodos de alrededor de 2 años, correspondiendo a variabilidad interanual. A pesar de ser estaciones cercanas, una responde a ondas más largas que la otra, en la variabilidad anual del número de tormentas.

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Iguazú**

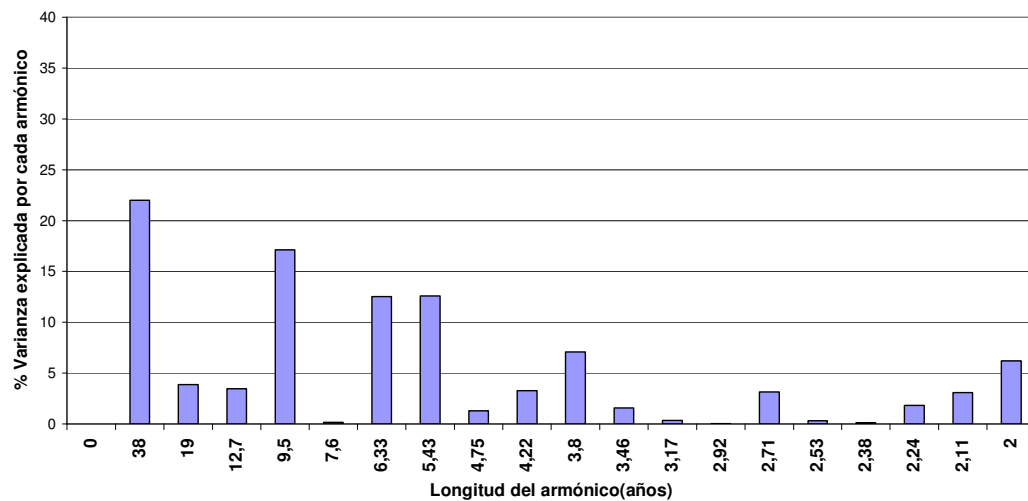


Fig. 3.16 e) Periodograma del número de tormentas anuales - Iguazú

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Posadas**

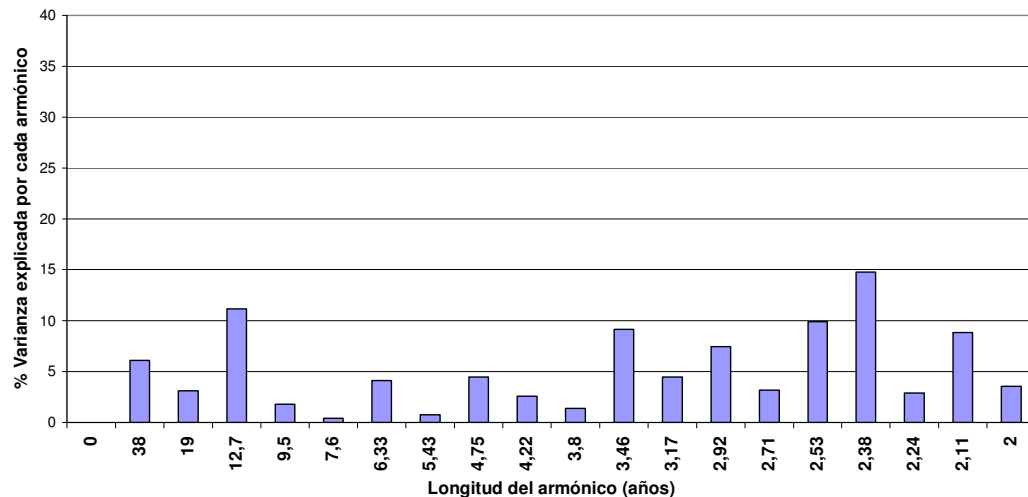


Fig. 3.16 f) Periodograma del número de tormentas anuales - Posadas

En las Figs. 3.16 g) y h) muestra el caso para las estaciones Ezeiza y Buenos Aires.

En ambas estaciones se ad máximos de varianza explicada en ondas cercanas a 19, entre 5 y 6, y alrededor de 3 años.

Ezeiza en particular muestra otro máximo alrededor de los 13 años y mayor variabilidad interanual.

Ambas estaciones responden a ondas medias y largas del espectro, pero en Ezeiza además tiene importancia una variabilidad interanual que no se muestra en la Ciudad de Buenos Aires.

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Ezeiza**

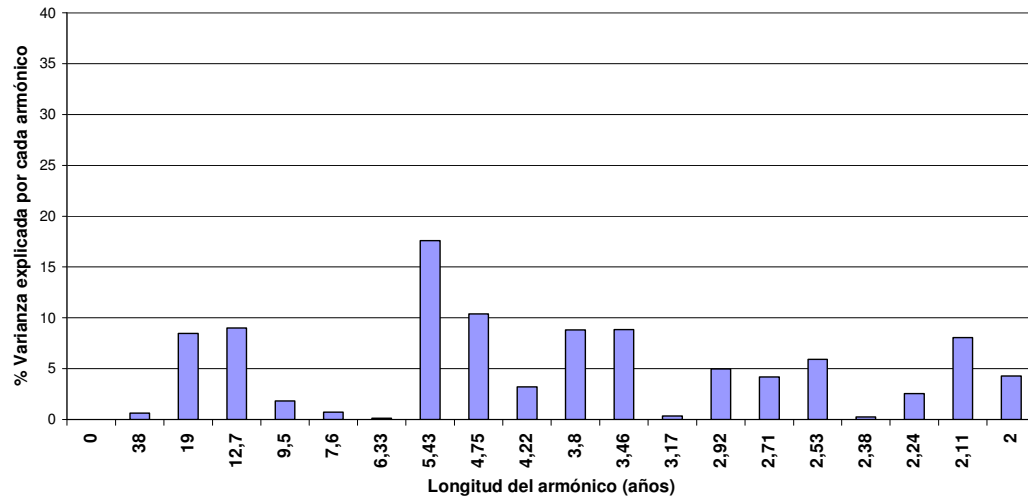


Fig. 3.16 g) Periodograma del número de tormentas anuales - Ezeiza

**Periodograma del N° de tormentas anuales
Buenos Aires**

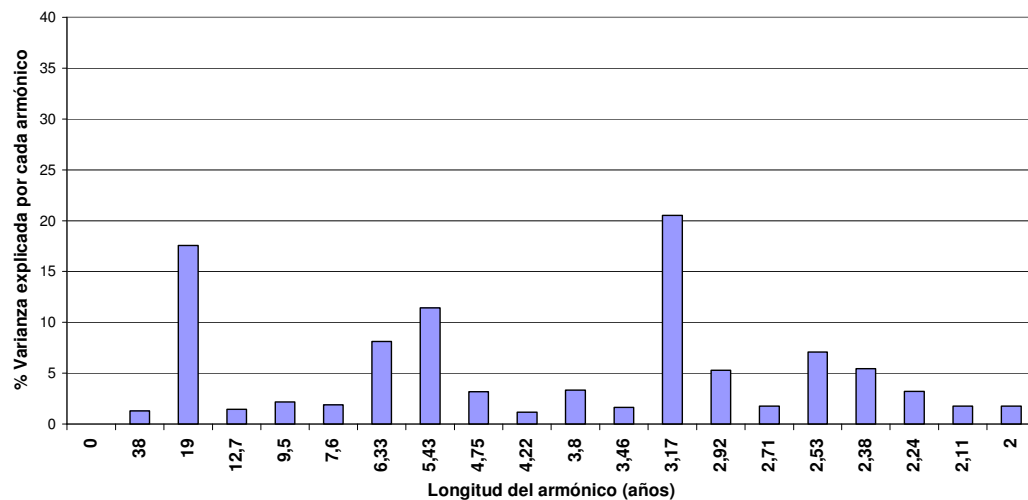


Fig. 3.16 h) Periodograma del número de tormentas anuales - Buenos Aires

En la Tabla 3.1 se presentan los porcentajes de la varianza explicada para diferentes longitudes de onda de los armónicos del espectro. En celeste los armónicos que explican más del 10% de la varianza

n° armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Longitud (años)	38	19	13	9,5	7,6	6,3	5,4	4,7	4,2	3,8	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	2
Salta	26	4,5	3,5	9,3	3,3	0,5	2,2	5,2	15	2,4	1	14	0,4	0	2,1	8,7	0,2	1,5	0,4
Iguazú	22	3,9	3,5	17	0,2	13	13	1,3	3,3	7,1	1,6	0,3	0	3,2	0,3	0,1	1,8	3,1	6,2
Posadas	6,1	3,1	11	1,8	0,4	4,1	0,7	4,5	2,6	1,4	9,1	4,5	7,5	3,2	9,9	15	2,9	8,8	3,5
Resistencia	10	7,8	18	2	1,5	6,8	0,6	6	2,9	2,6	3,4	1,2	4,1	3,7	3,9	5,5	5,5	13	0,3
Córdoba	0,7	0,5	7,9	9,3	3,6	0,3	1,1	1,2	21	4	4,7	12	5,5	7,2	1,6	8,8	5,4	4,3	0,9
Rosario	3,6	1,1	3,3	0,2	8,1	15	16	0,9	0,2	1	1,4	17	5,6	1,3	9	3,5	7,1	5,7	0
Aeroparque	4,3	6,6	0	0,7	15	14	12	3,7	6,3	1,1	0,4	12	5,1	0,7	3	6,5	5,8	1,6	0,9
Buenos Aires	1,3	18	1,4	2,2	1,9	8,1	11	3,2	1,2	3,4	1,6	21	5,3	1,8	7,1	5,4	3,2	1,7	1,8
Ezeiza	0,6	8,4	9	1,8	0,7	0,1	18	10	3,2	8,8	8,9	0,3	5	4,2	5,9	0,2	2,6	8	4,3
General Pico	4,4	25	36	15	0,1	1,7	0,5	1,1	4,8	1,1	0,4	1,5	0	1	0,4	0,2	4,3	0,6	2,2
Mar del Plata	1,1	2,8	2,3	20	13	18	0,9	3,9	1,3	1,3	0,4	14	6,2	0,9	1,6	3,5	1,7	1,5	4,9
Mendoza	8,8	13	1,1	2,4	12	15	11	2,5	2,3	0,4	1,1	0,4	0,1	5	6,5	0,4	11	7,5	1,2
Neuquén	1,9	17	6	13	22	3,1	0,8	0,9	1,6	2	2,8	3,9	2,6	3	5,8	4,2	5,3	4,4	0,1
Com. Rivadavia	7,9	0	24	5,7	2,9	7,2	2,1	2,9	0,2	3,7	0,2	9,6	0,1	2,8	16	10	2,3	1,6	0,2

Tabla 3.1 Porcentajes de la varianza explicada para diferentes longitudes de onda de los armónicos- En celeste >10% y en rojo >20%

Del análisis de la Tabla 3.1 surge que en ninguna estación las periodicidades encontradas explican más del 36%. Este análisis tiene validez en la medida en que uno pretenda encontrar un relación causa-efecto con algún proceso físico, pero la poca varianza explicada nos permitiría decir que no hay procesos fundamentales que definan la variabilidad interanual del número de tormentas, sino que esta es la resultante de un conjunto de procesos físicos que le dan un carácter de aleatoriedad a este comportamiento.

Las estaciones que tienen más variabilidad interanual, con ondas de períodos cercanos a los 2 años, no muestran en sus espectros ondas con más del 10% de variabilidad explicada entre 3 y 7 años (Comodoro Rivadavia, Posadas y Resistencia). Una excepción es Mendoza.

Las estaciones Salta, Córdoba, Iguazú, Rosario, Mendoza, Aeroparque, Buenos Aires, Mar del Plata y Ezeiza, presentan ondas con más del 10% de variabilidad explicada entre 3 y 7 años de longitud, que podrían asociarse al fenómeno El Niño, sin perder de vista la poca varianza explicada.

Las estaciones Comodoro Rivadavia, Mendoza, Posadas, Iguazú, Salta, General Pico, Buenos Aires, Mar del Plata, Neuquén y Resistencia predominan las ondas de períodos mayores de 7 años.

Hay que destacar que en General Pico la máxima varianza explicada del 76% se encuentra en la banda de ondas entre 9,5 y 19 años, lo que conduciría a pensar en procesos responsables a gran escala temporal y espacial.

3.5 Análisis de índices de inestabilidad

Con el objeto de analizar cómo se comportan los índices para ayudar a comprender la inestabilidad de las masas de aire que pudieron producir las tormentas y precipitaciones máximas se tomaron los datos de radiosondeo de 12 UTC para calcular diferentes índices de inestabilidad.

Las definiciones de los índices de inestabilidad figuran en Anexo IV.

Los índices Potencial de Bulbo Húmedo (D θ), Showalter (SH) y Lifted (LI) son los mejores predictores de eventos convectivos, aunque el índice K Whiting es más apto para el período diciembre-febrero (Moyano, M. C. et al., 1972; L. Rosso et al., 1989). Este índice fue elaborado para tormentas de masa de aire y da mayor valor cuando más espesor tiene la capa húmeda en altura, que puede ser desfavorable para el desarrollo de convección severa (David, Smith, 1971).

Se considera que el dato de radiosondeo es representativo de 250 km a escala espacial.

El análisis de los índices tiene la dificultad de la falta de continuidad de los radiosondeos o de la falta de algún parámetro en algún nivel para el cálculo de los mismos. Por ello se limitó el análisis para las estaciones más completas, Ezeiza, Resistencia, Salta y Córdoba, cubriendo la parte norte y centro este de la Argentina.

Las figuras que se muestran a continuación contienen en línea llena la cantidad de días con el valor del índice en el intervalo correspondiente, y en barras, el porcentaje de esos días en los cuales ocurrieron tormentas.

Los umbrales de cada índice no son límites excluyentes de la severidad de las tormentas. Más aún si se consideran diferentes índices la discriminación entre tipos de tormentas es diferente. Por consiguiente el número de tormentas asociado a los rangos de mayor inestabilidad es diferente dependiendo del proceso físico que define al índice. Es necesario recordar que el índice se calcula para un momento del día y que la frecuencia o no de tormentas está tomada en 24 horas (de 0 UTC a 23 UTC del día del sondeo a las 12 UTC).

3.5.1. Índices de inestabilidad en Ezeiza

En las Figs 3.17 a 3.20 se muestran los porcentajes de casos de tormentas para diferentes intervalos de índices de inestabilidad, según la definición que figura en Anexo IV, calculados a partir de los radiosondeos de Ezeiza Aero de 12 UTC disponibles, considerando el período de enero de 1995 a agosto de 2006.

La cantidad de radiosondeos faltantes anual fue entre 24,7% y 28,8 %, en el período considerado.

Se tomaron las ocurrencias de tormentas en Ezeiza o en las estaciones cercanas, San Fernando, Don Torcuato, San Miguel, El Palomar, Aeroparque, Buenos Aires y La Plata como día con tormenta en Ezeiza. Todas las estaciones distan menos de 67 km. En el 24,2% de los días con radiosondeos hubo tormentas.

En la Fig. 3.17 se observa que para el índice Total-Total (TT) ≥ 50 (35 casos), se produjeron tormentas en más del 60% de los casos.

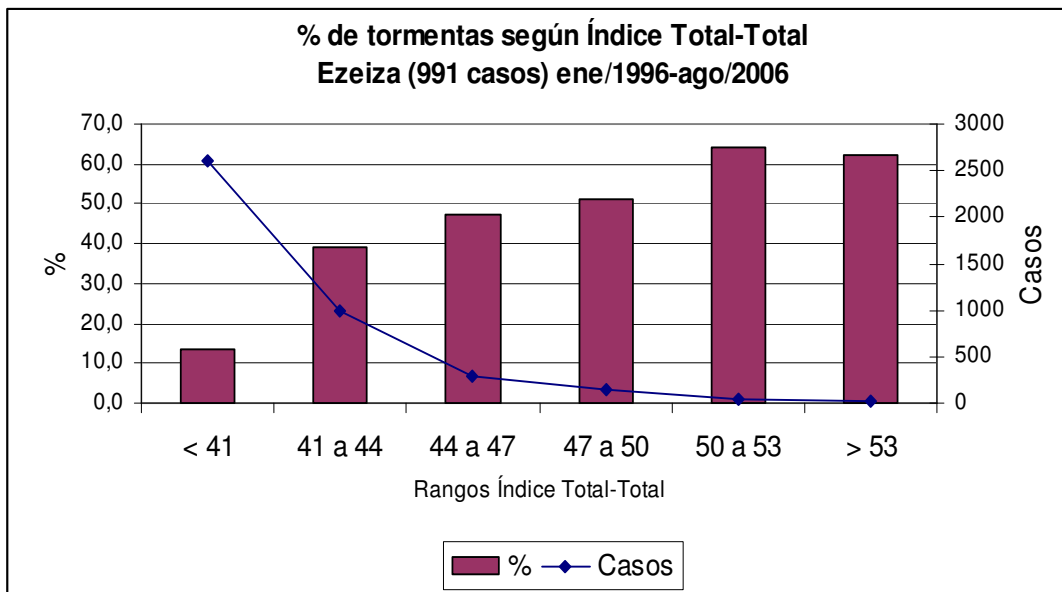


Fig. 3.17 Frecuencia y casos de tormentas para rangos de índice Total-Total-Ezeiza Aero

En la Fig. 3.18 se observa que para el índice K Whiting (K) ≥ 30 (219 casos), se produjeron tormentas en más del 60% de los casos. Cuando el índice K > 35 , en el 80% de los casos se produjeron tormentas.

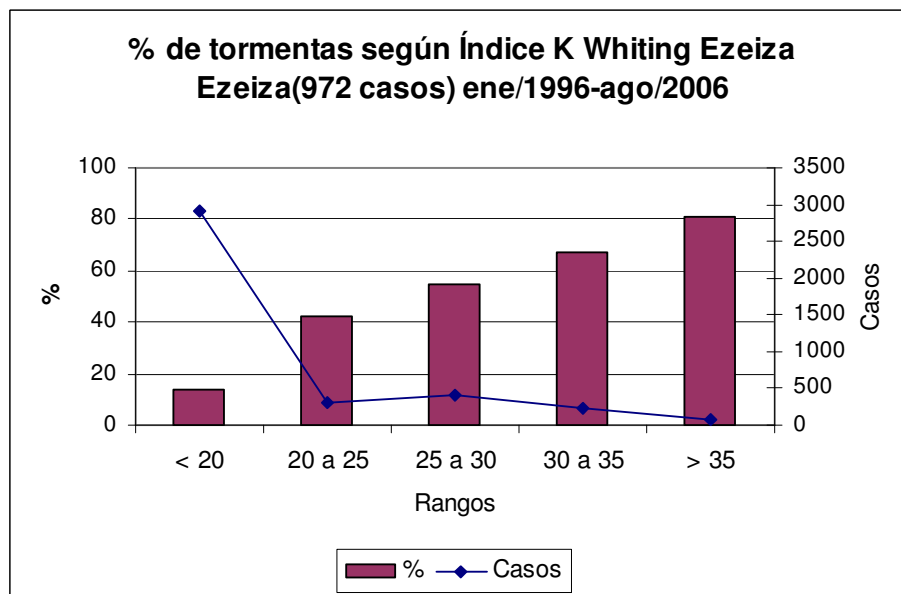


Fig. 3.18 Frecuencia de tormentas para rangos de índice K Whiting-Ezeiza Aero

En la Fig. 3.19 se observa que para el índice Showalter (K) < -3 (12 casos), tormentas más severas, se produjeron tormentas en más del 90% de los casos.

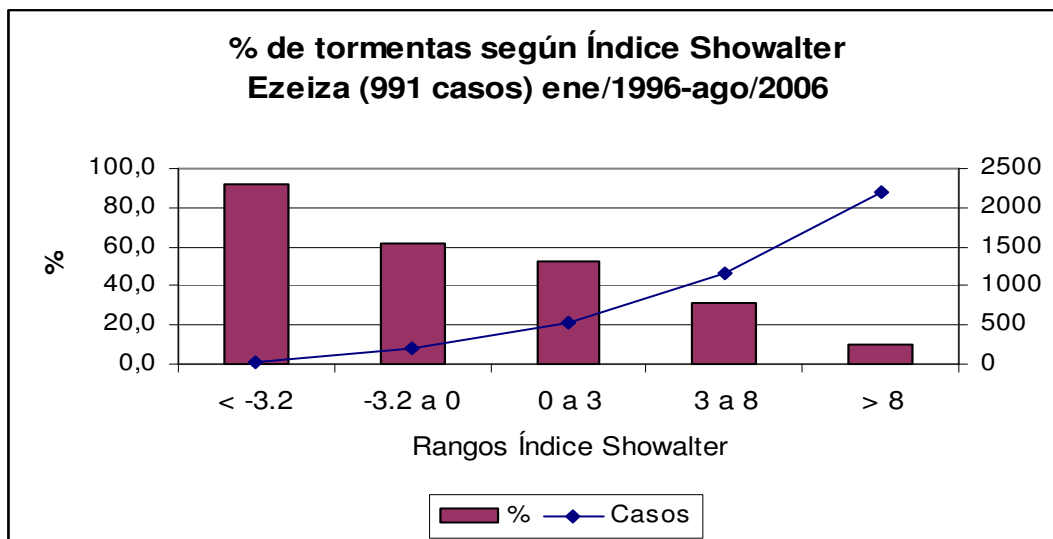


Fig. 3.19 Frecuencia de tormentas para rangos de índice Showalter-Ezeiza Aero

En la Fig. 3.20 se observa que para el índice SWEAT (K) > 400, se produjeron tormentas intensas en más del 90% de los casos.

Estos umbrales podrían servir para tener un indicio en el momento de hacer un pronóstico.

Si bien existen pocos casos con umbrales extremos, cuando ocurren hay una alta probabilidad de que se produzcan tormentas intensas.

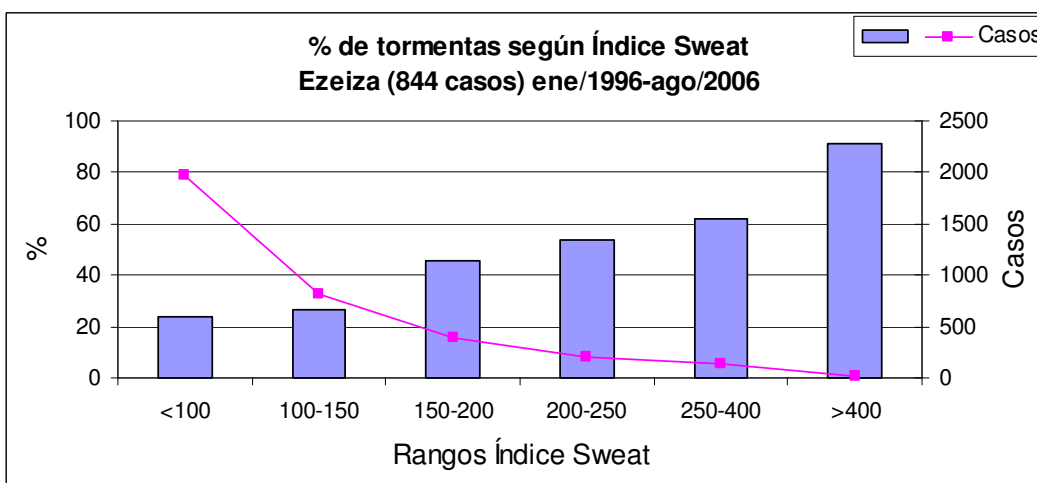


Fig. 3.20 Frecuencia y casos de tormentas para rangos de índice Sweat-Ezeiza Aero

En la Figs. 3.21 a) a d) se muestran las frecuencias anuales de los índices de inestabilidad según umbrales para tormentas fuertes en la estación Ezeiza, según Rosso et al (1987), en el período general de 1973 a 2006.

En la Fig 3.21 a) se observa un cambio en las frecuencias medias del índice $TT > 50$, entre los períodos 1973-1990 y 1991-2006, con una disminución de casos a partir de 1993, excepto en 1997, con valores menores que en décadas

anteriores, es decir menores casos de tormentas severas y ocasionales tornados.

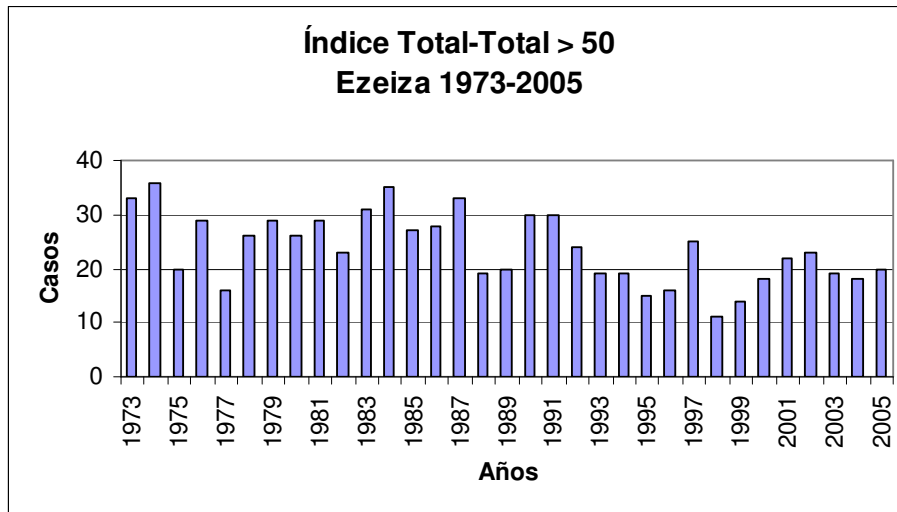


Fig. 3.21 a) Frecuencia anual de TT>50 (pocas tormentas severas y tornados aislados) - Ezeiza Aero

En la Fig 3.21 b) se observa que para SH < -3 hay un comportamiento similar al observado en el índice TT, a partir de 1993. Se presentaron máximos relativos durante 2002-2003. Hay que tener en cuenta que los casos de ocurrencia anual de valores de índices correspondientes a tormentas severas son pocos.

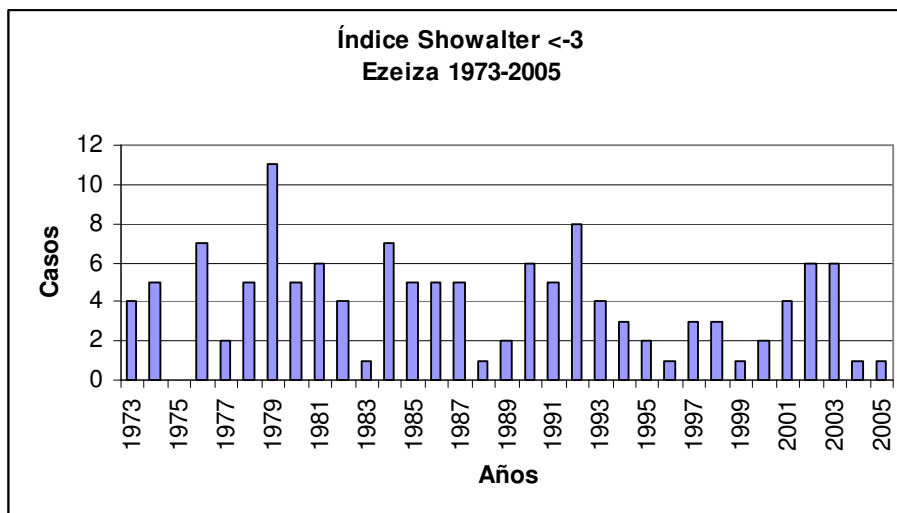


Fig. 3.21 b) Frecuencia anual de SH<-3 (alta potencialidad de tormentas severas). Ezeiza Aero

En la Fig 3.21 c) se observa una disminución de casos índices K > 35, es decir menores casos con tormentas, a partir de 1993 y se recupera a partir de 2001, sin alcanzar los valores anteriores a 1993.

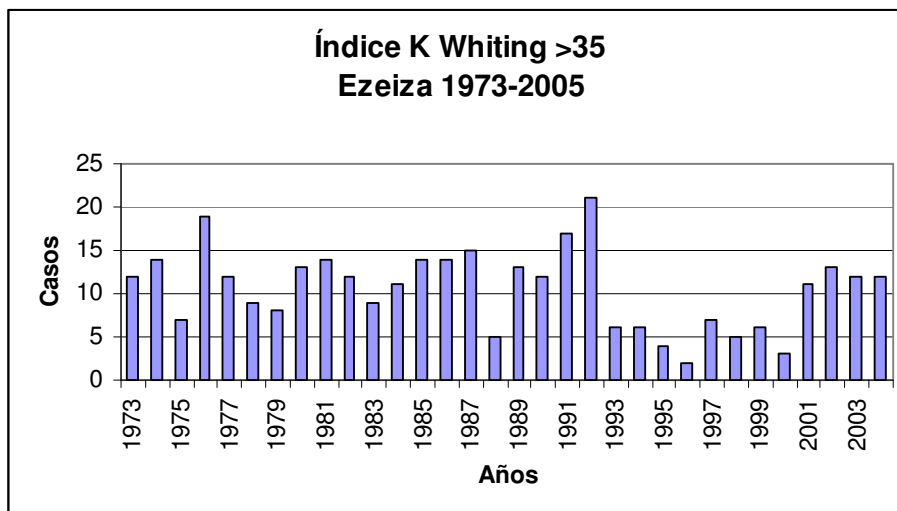


Fig. 3.21 c) Frecuencia anual de K>30 (riesgo de tormentas) - Ezeiza Aero

En la Fig 3.21 d) se observan pocos casos de índices SWEAT ≥ 250 , es decir pocos casos de tormentas severas, se observa un máximo relativo en 2002, año El Niño. Esto es coincidente con los máximos relativos observados en las tres figuras anteriores.

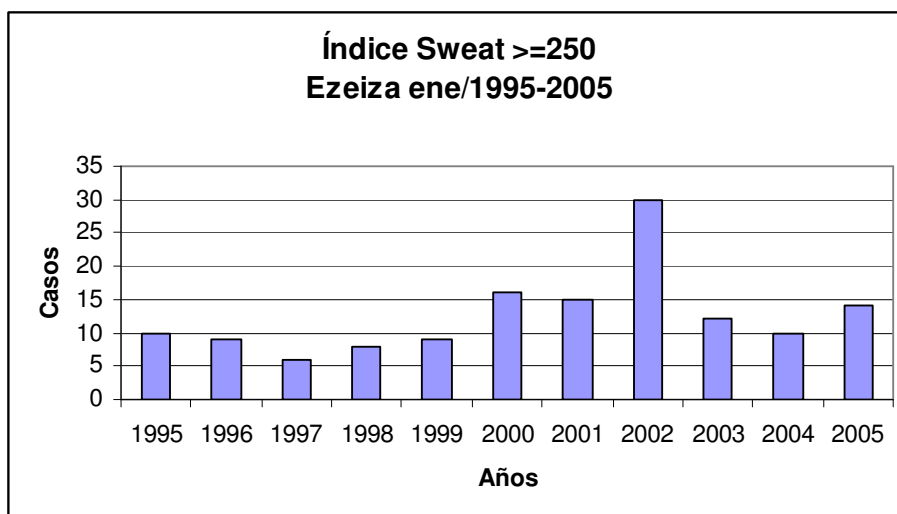


Fig. 3.21 d) Frecuencia anual de SWEAT ≥ 250 (riesgo de tormentas)- Ezeiza Aero

3.5.1.1 Índices de inestabilidad extremos y promedios anuales en Ezeiza

En la Fig 3.22 se muestran los máximos anuales y los promedios del índice SWEAT, para el período 1989-2006. Cabe mencionar que como existen días sin información de este índice debe considerarse a los valores como un umbral que podría ser menor que otro valor no observado.

Si bien en el año 2006, al momento de realizar el estudio sólo se contaba con información de enero a agosto, este año se incluyó de todas maneras por presentar el mayor valor de la serie con 563,3 el 26 de julio, donde se produjo una enorme granizada en la ciudad de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires.

Como el cálculo de este índice incluye condiciones dinámicas de la atmósfera, si bien los casos son puntuales, en el último año se dio una combinación de las mismas con condiciones termodinámicas, que condujo a un valor muy por encima de los valores observados en los 18 años previos.

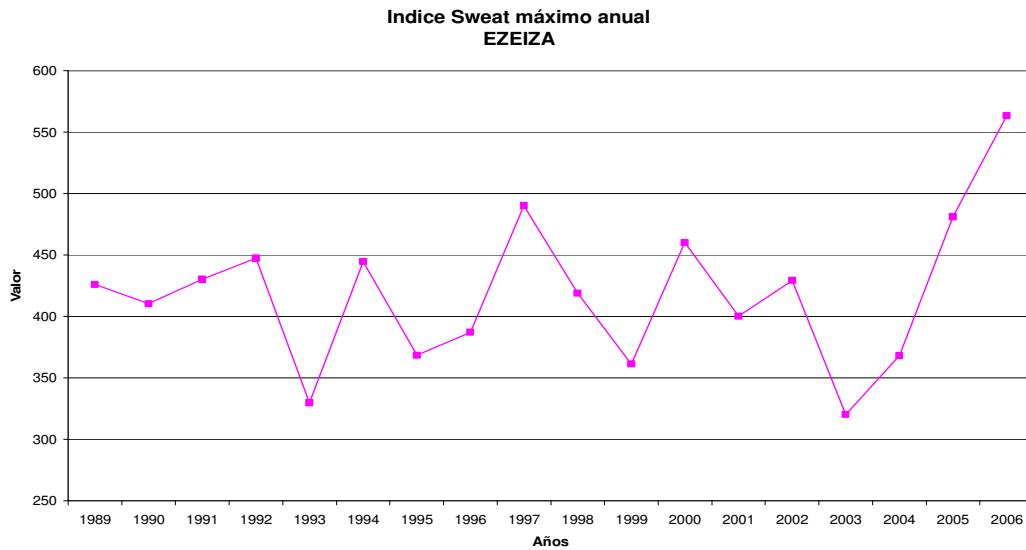


Fig. 3.22 Máximos anuales del índice SWEAT- Ezeiza Aero

En la Fig. 3.23 se muestran los valores mínimos anuales del índice Showalter durante los años 1973-2005. Se observa una tendencia positiva de este índice, es decir, condiciones de menor severidad, a partir de 1987; a diferencia del índice anterior, no se notan valores extremos hacia el final del período de análisis.

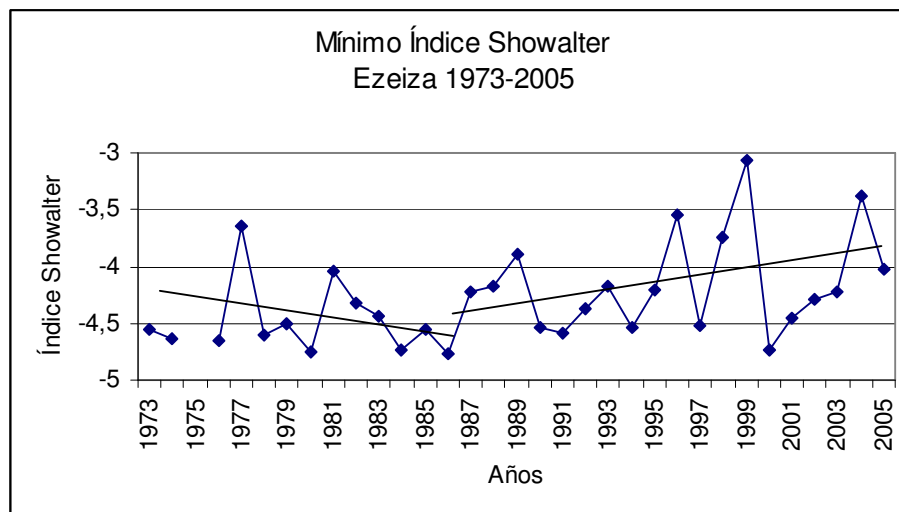


Fig. 3.23 Mínimos anuales del índice SH- Ezeiza Aero

En la Fig. 3.24 se muestran los promedios anuales de los diferentes índices de inestabilidad para el período 1973-2005. Se observa que los índices,

coincidentemente a partir de 1991-1993, muestran una tendencia a la estabilidad de las condiciones atmosféricas.

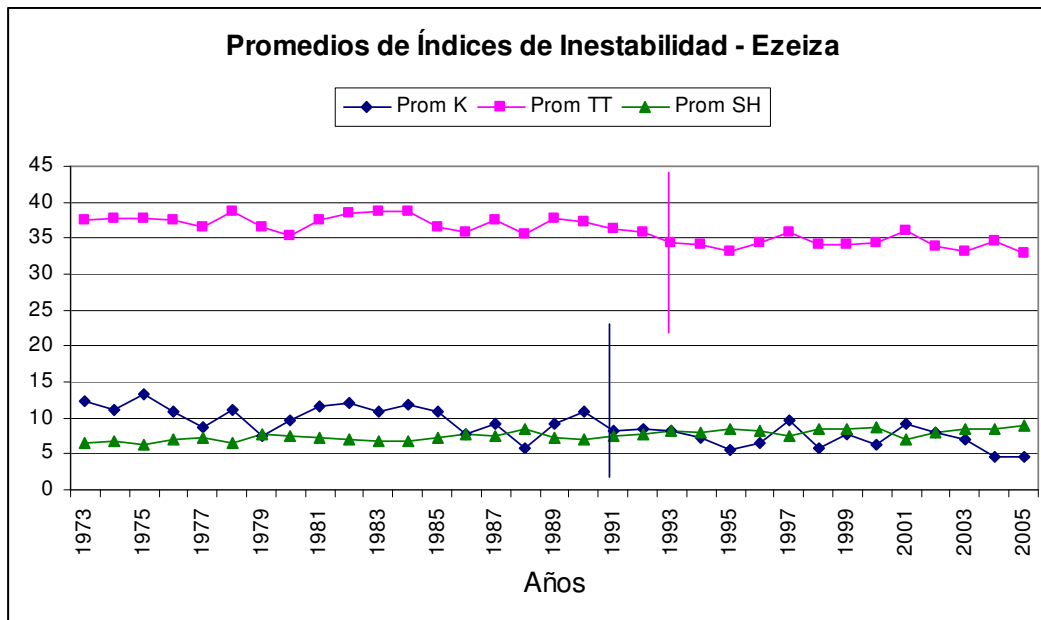


Fig. 3.24 Promedios anuales de los índice de inestabilidad- Ezeiza Aero

3.5.2 Índices de inestabilidad en Resistencia

La serie de datos de radiosondeos de Resistencia para 12 UTC más completa disponible fue desde 1992 a 2006, con un porcentaje de faltantes entre 2,7% y 12,9%. No se tiene información del año 2002 y el año 2003 no se consideró por falta del 63% de la información.

En las Figs. 3.25 a) a d) se muestran los índices para la estación Resistencia. Se observa un máximo de casos en el año 1997, año El Niño intenso, para los índices Total-Total (Fig. 3.25 a)) y Showalter (Fig. 3.25 b)) definidos para situaciones de tormentas severas y eventualmente tornados. Los años 2004-2006 se presentaron con pocos casos de inestabilidad con condiciones para tormentas severas.

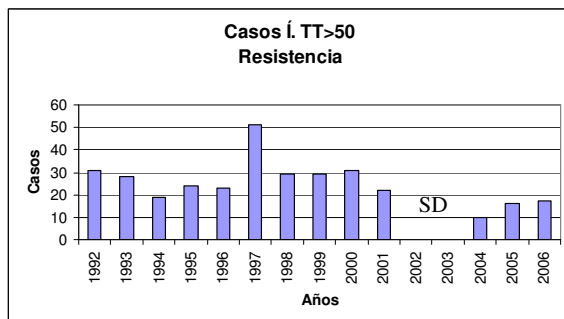


Fig. 3.25 a) Frecuencia anual de TT>50 Resistencia Aero

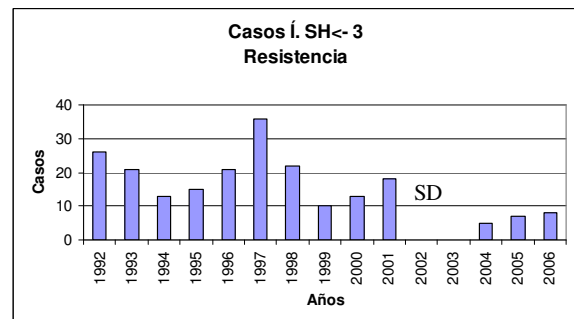


Fig. 3.25 b) Frecuencia anual de SH<-3 Resistencia Aero

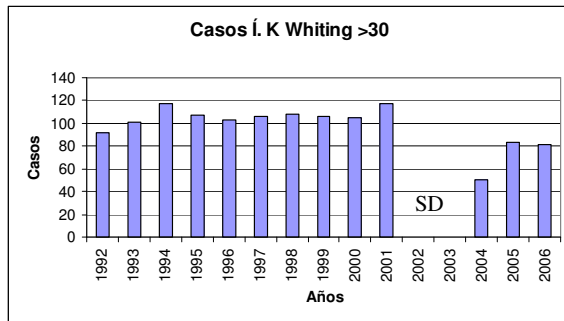


Fig. 3.25 c) Frecuencia anual de K>30 Resistencia Aero

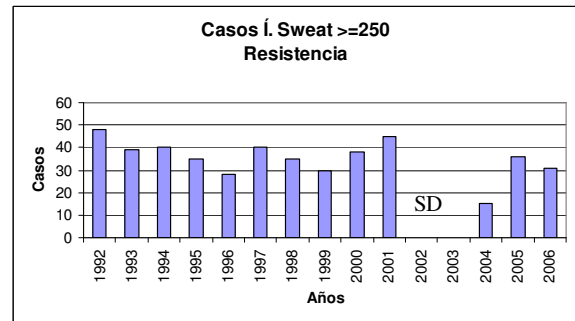


Fig. 3.25 d) Frecuencia anual de SWEAT ≥ 250 Resistencia Aero

Las frecuencias de índices K de Whiting para condiciones severas disminuyeron apreciablemente en el período 2004-2006, tomando valores menores a los años anteriores, en el período 1992-2001 (Fig. 3.25 c)).

Los casos de índices Sweat para condiciones severas no presentan grandes diferencias con el período 1992-2001. Se presentan menores valores para 2004 (Fig. 3.25 d)).

Para todos los índices analizados hay un mínimo relativo en la frecuencia de índices para rangos de mayor severidad en el año 2004, y hacia el final del período valores menores que para el período anterior.

Si se grafican los promedios anuales de los índices en Resistencia (Fig. 3.26) no se observan tendencia apreciables, sólo una disminución en los últimos tres años del índice Sweat, lo que nuevamente habla de una menor inestabilidad, en promedio, en las masas de aire de Resistencia.

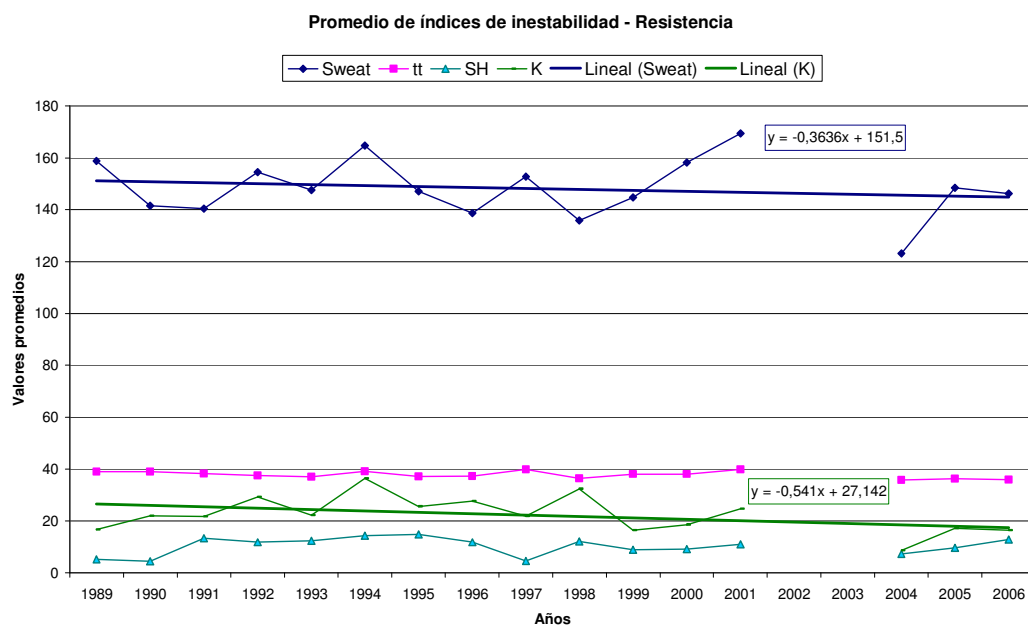


Fig. 3.26 Promedios anuales de los índice de inestabilidad- Resistencia Aero 1989-2006

En los extremos anuales de los índices de inestabilidad no se observan tendencia (Fig. 3.27).

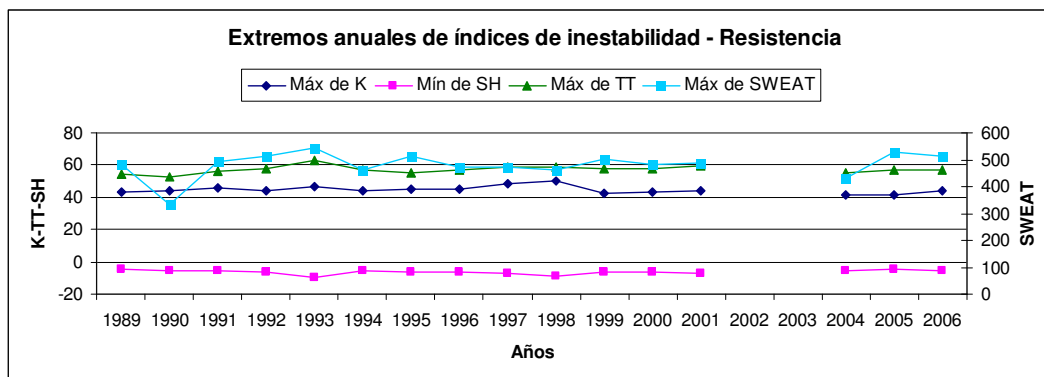


Fig. 3.27 Extremos de índices de inestabilidad- Resistencia Aero 1989-2006

3.5.3 Índices de inestabilidad en Córdoba

Los radiosondeos de Córdoba tienen faltantes que oscilan entre 0,5% y 24% en el año. Para los años 1996 y 1997 no se tienen datos.

En las Figs. 3.28 a) a d) se muestran los índices de inestabilidad para Córdoba Aero, para casos de tormentas severas y tornados, período 1989-2006.

La frecuencia de casos de índice TT para casos de tormentas severas y tornados muestra una frecuencia menor para período 2003-2006 (Fig. 3.28 a)). En el índice de Showalter se aprecia con mayor énfasis la menor frecuencia de días muy inestables en el período 1994-2006, excepto en el 2002 (Fig. 3.28 b)). Los casos de índices K no se modifican demasiado en el período 1989-2006 (Fig. 3.28 c)).

El índice SWEAT muestra una onda de aproximadamente 10 años (Fig. 3.28 d)). En todos los casos hay un máximo relativo en la frecuencia de los índices inestables en el año 2002, coincidente con lo que se observó en Ezeiza.

En Córdoba no se encuentran variaciones en la frecuencia de valores de índices inestables como en las dos estaciones analizadas más arriba. Las condiciones orográficas que rodean a la estación Córdoba serían determinantes de este comportamiento.

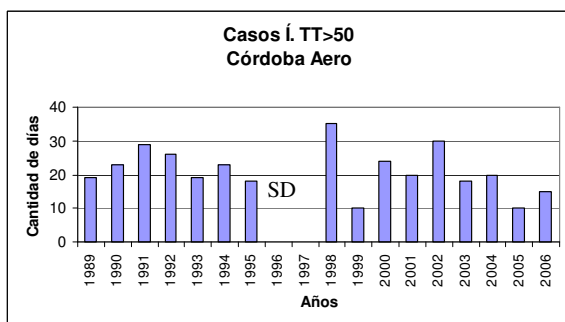


Fig. 3.28 a) Frecuencia anual de TT>50- Córdoba Aero

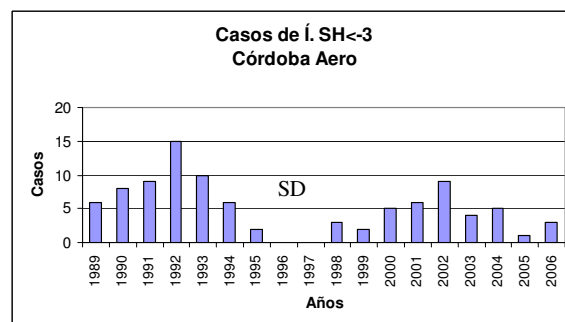
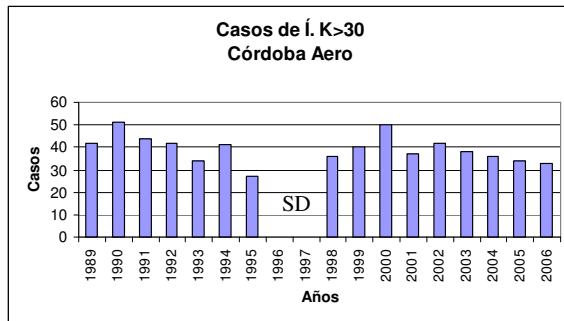
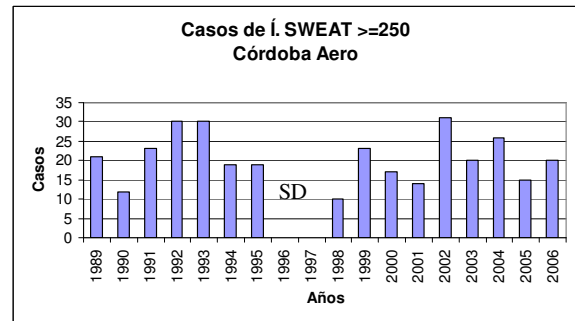


Fig. 3.28 b) Frecuencia anual de SH≤-3. Córdoba Aero

Fig. 3.28 c) Frecuencia anual de $K > 30$ - Córdoba AeroFig. 3.28 d) Frecuencia anual de $SWEAT \geq 250$ - Córdoba Aero

En los promedios anuales de los índices no se observan tendencias (Fig. 3.29)

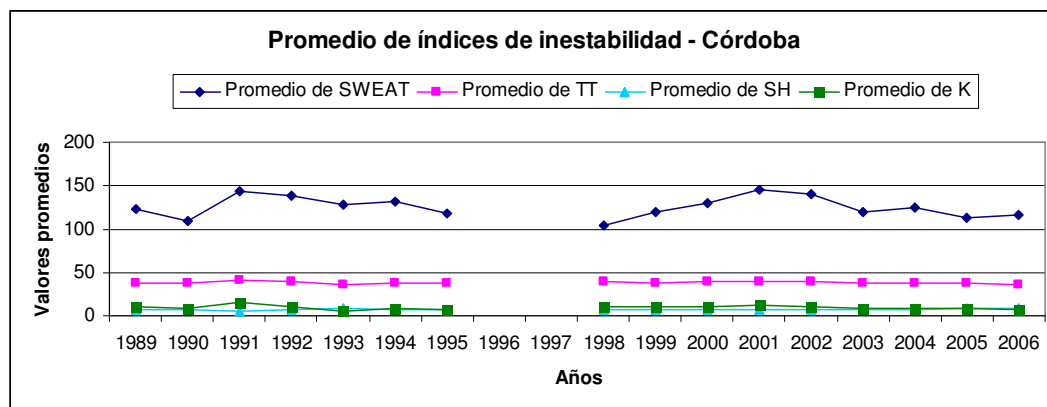


Fig. 3.29 Promedio de índices de inestabilidad Córdoba Aero 1989-2006

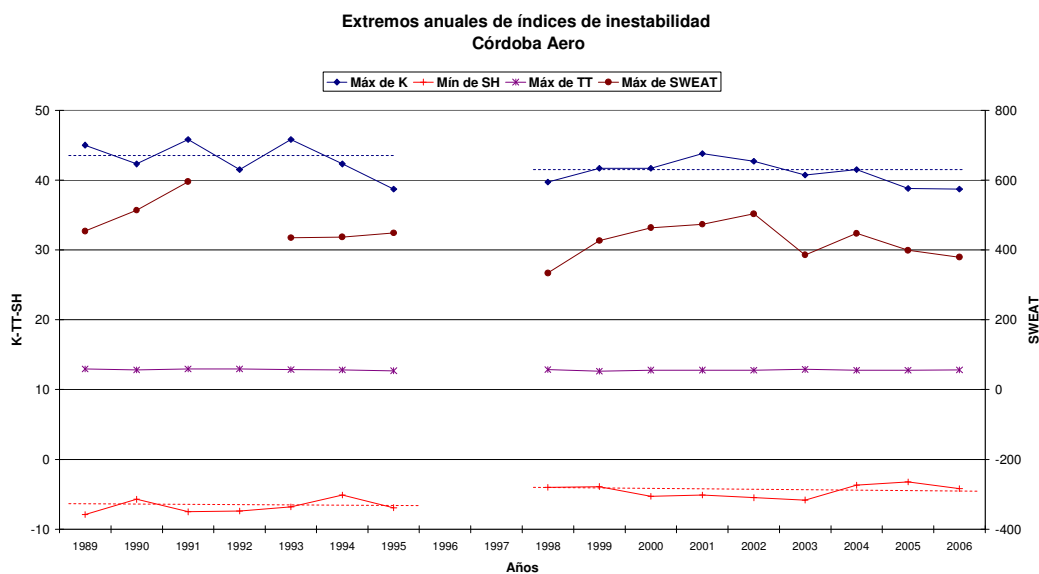


Fig. 3.30 Extremos de índices de inestabilidad- Córdoba Aero

Si se grafican los extremos anuales de los índices en Córdoba Aero (Fig. 3.30) se observan extremos con tendencia hacia atmósfera menos inestable en los

índices K y SH, mediante el análisis de los valores medios en los dos períodos con información.

3.6 Conclusiones

a) Respecto del número de tormentas anuales en la Argentina continental:

Los días que se informaron tormentas en algún punto del país fueron entre 260 y 300 días en el año, es decir que entre el 72% y 83% de los días del año se produce al menos una tormenta.

Se observa un aumento de la cantidad de tormentas en promedio, en el período 1990-2006, en la zona entre 35° y 40° de latitud S, excepto sobre el centro-oeste de la Provincia de Buenos Aires.

Se observa un aumento de tormentas al norte de Mendoza y sur de San Juan, norte de Santa Fe, este de Formosa y Chaco, y las Provincias de Corrientes y Misiones.

Los meses con mayor cantidad de tormentas son los meses más cálidos, de octubre a marzo.

A partir de 1998 se observa una disminución de días de tormentas extendidas (con por lo menos 30 estaciones con tormentas para un día dado).

La disminución de tormentas extendidas podría deberse a cambios en la intensidad y ubicación de las corrientes en chorro de latitudes medias. Berbery y Vera (1996) presentaron evidencia de que el carácter de los transientes es regionalmente dependiente, atribuible a los cambios del estado básico.

En todas las estaciones analizadas puntualmente la variabilidad interanual del número de tormentas tiene tendencia positiva, en el período 1968-2006, con valores significativos al 90% en Iguazú (con un aumento de 18,3 tormentas cada 10 años), Paso de los Libres y General Pico.

Durante los años 2004 a 2006 se observa una disminución de tormentas en todas ellas.

En **Córdoba**, en el período 1984-1997, se observa mayor cantidad de tormentas respecto de período anterior, en algunos años del orden del 15%. A partir de 1998 se observa una disminución alcanzando valores similares a los del comienzo del período de análisis. La tendencia en el período es positiva, con un crecimiento de 2 tormentas por año.

En **Salta** en el período 1979-2001 se observan máximos de tormentas anuales con valores no alcanzados en el resto del período de análisis. En los años posteriores se observa una disminución del número de tormentas.

En **Mendoza** se observa un aumento de tormentas anuales en el período 1980-1998, como así también un aumento en la variabilidad. En el período posterior se observa una disminución en el número de tormentas. Estos cambios mencionados están asociados a cambios en la circulación atmosférica en escala regional (Agosta, 2006).

En las estaciones Córdoba y Salta el número de tormentas tiene un ciclo en el período (38 años), mientras que en Mendoza se muestran dos ciclos, representando dos comportamientos regionales diferentes.

Paso de los Libres e **Iguazú** se comportan en forma similar entre sí y de manera apreciablemente diferente a **Posadas** y **Resistencia** desde el comienzo del período de análisis hasta el año 1982. Durante este período estas dos últimas estaciones tienen un mayor número de tormentas anuales, del orden del doble. A partir de 1982 las cuatro estaciones muestran un comportamiento más homogéneo en el número anual de tormentas hasta 1995 y desde allí Paso de los Libres disminuye apreciablemente esta frecuencia. Todas disminuyen entre 1990 y 1995, luego aumentan hasta el 2002 para decaer al final del período. Esto indica un comportamiento regional para esta zona del Litoral.

A partir de 1994 hasta 2003, en las estaciones **Aeroparque**, **Ezeiza** y **Buenos Aires** se observó un aumento de las tormentas con valores máximos absolutos no registrados en el período previo.

La cantidad de tormentas en Ezeiza es mayor que en Buenos Aires (66% de las veces) y Aeroparque (79%). En el 63% de los casos, Buenos Aires informó más tormentas que Aeroparque.

Se observa que en el período 1993-2006 creció la diferencia de tormentas de Ezeiza respecto de Buenos Aires y Aeroparque.

En la estación **Neuquén** se observó un salto positivo en la cantidad de tormentas entre los años 1996/1997. La tendencia hasta ese momento era negativa y después del salto vuelve a ser marcadamente negativa, con mínimo en 2003.

Este cambio podría asociarse a cambios en la circulación con aporte de flujo del sudoeste en el período previo al salto y del este posterior a él.

En **Mar del Plata** prácticamente no se observaron tendencias temporales de tormentas anuales pero si aumento de la variabilidad al final del período.

General Pico tiene comportamiento similar a Mar del Plata y en otros períodos similar a Córdoba, dependiendo de, entre otros factores, del aporte de humedad, asociado con la presencia o no del LLJ.

El análisis de los periodogramas del número de tormentas anuales se concluye que tiene validez en la medida en que uno pretenda encontrar un relación causa-efecto con algún proceso físico, pero la poca varianza explicada nos permitiría decir que no hay procesos fundamentales que definan la variabilidad interanual del número de tormentas, sino que esta es la resultante de un conjunto de procesos físicos que le dan un carácter de aleatoriedad a este comportamiento.

Las estaciones que tienen más variabilidad interanual, con ondas de períodos cercanos a los 2 años son Comodoro Rivadavia, Posadas, Resistencia y Mendoza.

En General Pico la máxima varianza explicada del 76% se encuentra en la banda de ondas entre 9,5 y 19 años, lo que conduciría a pensar en procesos responsables a gran escala temporal y espacial.

b) Respecto de los índices de inestabilidad

Los índices de inestabilidad son integradores de las características de la atmósfera en un momento dado y representan un radio de 250 km. aproximadamente.

Estos índices se calculan a partir del radiosondeo de la 12 UTC, que para esta región no representan necesariamente las condiciones de la hora de máxima inestabilidad (primeras horas de la tarde), con lo cual implícitamente habría una tendencia a tener menos casos anuales de inestabilidad que los reales.

Existen pocos casos con umbrales extremos de los índices en situación de tormentas severas en este horario, no obstante cuando se dan estos valores hay una alta probabilidad de que se produzcan tormentas, conformando un indicio importante en el momento del pronóstico.

Los umbrales de cada índice no son límites excluyentes de la severidad de las tormentas. Más aún si se consideran diferentes índices la discriminación entre tipos de tormentas es diferente. Por consiguiente el número de tormentas asociado a los rangos de mayor inestabilidad es diferente dependiendo del proceso físico que define al índice. Es necesario recordar que el índice se calcula para un momento del día y que la frecuencia o no de tormentas está tomada en 24 horas (de 0 UTC a 23 UTC del día del sondeo a las 12 UTC).

Los valores que están asociados a la producción de tormentas severas sólo alcanzan un porcentaje de alrededor del 1%, para los índices analizados en las diferentes estaciones.

La variabilidad interanual de la frecuencia de índices en el rango de más inestables en Ezeiza indican una disminución alrededor de los años 1992/1993 respecto del período anterior, con máximos relativos en 2002/2003 para todos los índices analizados y en 1997 para los índices TT y SH.

En Ezeiza los promedios anuales de los valores de los diferentes índices muestran, a partir de 1991-1993, una tendencia a la estabilidad de las condiciones atmosféricas.

En Resistencia la variabilidad de la frecuencia anual, para los índices analizados de mayor severidad, muestran un mínimo relativo en el año 2004, y hacia el final del período valores menores que para el período anterior.

En los promedios anuales no se observan tendencia apreciables, sólo una disminución en los últimos tres años del índice Sweat, lo que nuevamente habla de una menor inestabilidad, en promedio, en las masas de aire de Resistencia.

En Córdoba Aero no se observan tendencias en los promedios anuales de los índices. El único índice que muestra una menor frecuencia de casos para condiciones extremas es el de Showalter, a partir de 1998.

El análisis de los valores medios anuales de los índices tal como se mostró en el desarrollo de este capítulo, tiende a dar características de una atmósfera cada vez más estable en el período 1992 hasta 2006.

Capítulo IV- Estudio de precipitaciones extremas

4.1 Introducción

La precipitación y su relación con otros parámetros físicos o económicos tienen un impacto social de gran envergadura lo que hace de suma utilidad el conocimiento en profundidad de los diversos aspectos involucrados en su naturaleza. Ya sea su cantidad, frecuencia, períodos secos y húmedos, intensidad, y variabilidad espacial y temporal han sido motivo de estudio de diferentes autores en mayor o menor grado.

En este capítulo se estudia la variabilidad interanual de las precipitaciones en la parte continental de la Argentina, con un enfoque en las mayores y más intensas. Se estudian los extremos de la precipitación en diferentes aspectos, enfocados especialmente en la zona noreste de nuestro país, latitud menor a 40° S.

Los datos utilizados fueron los correspondientes a las estaciones sinópticas o climáticas, después de pasar por controles de consistencia, especificados en el Capítulo I. Sólo se consideraron los provenientes de estaciones pluviométricas cercanas a las anteriores para corroborar algún dato dudoso o faltante debido a los problemas de esta información detallados con anterioridad.

En el caso del cálculo de índices de precipitación se utilizaron los datos del período 1960-2000.

En el caso del estudio de precipitaciones combinadas con número de tormentas se tomó el período 1968-2006 puesto que es el período donde se contaba con datos más confiables de cantidad de tormentas.

Para el análisis de intensidad de la precipitación se utilizaron diferentes períodos dependiendo de la disponibilidad del análisis de fajas con que se contaba en cada estación.

4.2 Antecedentes - Naturaleza de las precipitaciones extremas

Los procesos regionales están influidos en su evolución y su predictabilidad por los procesos globales. Nuestro país está afectado por sistemas de regiones tropicales y extratropicales. Estudios sinópticos arrojaron la interrelación entre la precipitación y la intensidad de la circulación de la celda de Hadley (Tanaka y Nishizawa, 1983).

La Oscilación Maden-Julian (MJO) refiere a una oscilación de 30-60 días. Esta oscilación toma alrededor de 6 semanas para alcanzar la costa este del Pacífico, una vez generada en el Pacífico oeste. Usualmente la intensidad de esta oscilación disminuye al llegar a la costa este. Si se manifiesta en la costa este su efecto puede sentirse produciendo convección más débil o más intensa en la zona del Amazonas y del sudeste del Brasil y noreste de Argentina, especialmente en el verano (Kayano y Kousky, 1992).

La zona del Litoral/Uruguay es conocida como una zona ciclogénica así como el Golfo de San Matías (Necco, 1982 a) y b); Possia, N., 2004). Cuando estos ciclones tienen una rápida intensificación y producen grandes cantidades de lluvia tienen un impacto significativo sobre la población con el acompañamiento de inundaciones causando pérdidas de vidas y propiedades. Al oeste de nuestro país se encuentra la Cordillera de los Andes con orientación casi meridional. La Cordillera de los Andes tiene una importante influencia en la formación inicial de ciclones extratropicales sobre el continente, (Gan y Rao, 1991; Rivero y Bischoff, 1971; Necco, 1982 a) y b); Kousky y Gan 1981). Los ciclones del litoral producen considerables lluvias en áreas extensas por ascenso de grandes masas de aire con mucha agua precipitable. Las depresiones activas del litoral se forman cuando se reúnen las condiciones de corrientes conducentes en forma de vaguada en capas medias y altas, una masa de aire caliente y muy húmeda en capas inferiores sobre el noreste de Argentina, y un sistema catalobárico que inicie la circulación ciclónica en la masa húmeda. La divergencia en capas altas favorece la profundización del sistema.

Barros y otros (2004) analizaron que en el río Paraguay, al igual que en el Paraná, las mayores crecidas se produjeron durante el otoño debido a las importantes anomalías positivas de precipitación que tienen lugar sobre la cuenca como consecuencia de la intensificación del jet subtropical y la advección de vorticidad ciclónica sobre la región.

García y Vargas (1996) estudiaron la relación de la variabilidad espacial de la escorrentía y de la precipitación en la cuenca del Río de la Plata. Vargas et al. (2005) estudiaron la variabilidad climática de los caudales como robusto integrador de las propiedades de las cuencas, para los ríos Paraná y Uruguay y encontraron un salto climático alrededor de 1970. Los eventos de caudal extremo del río Uruguay tienen aproximadamente la misma duración que la perturbaciones sinópticas (3 a 10 días) asociadas a las precipitaciones extraordinarias que los producen. (Camilioni, 2005).

Alessandro, P. (2005) concluye que las precipitaciones son menores en el noreste del país cuando sistemas bloqueantes se localizan al este de los 70°W.

Carvalho et al. (2004) examinaron los eventos de extremos de precipitación en relación con la oscilación Madden Julian (MJO) y encontraron que cuando la relación entre la actividad convectiva y la MJO en Indonesia es débil, los eventos extremos de precipitación a lo largo de la SACZ se incrementan y en el sudeste de Brasil son más débiles. Concluyen que los eventos extremos de precipitación en el sudeste de Brasil exhiben una variabilidad interanual relacionada con forzantes de gran escala, con más días con eventos extremos durante condiciones de El Niño que durante La Niña. Esto es consistente con Grim y Pscheidt (2001) que concluyen que para el sudeste de Brasil hubo un gran incremento en la frecuencia de eventos extremos durante los años El Niño en el período 1963-1992.

Estudios de Aceituno(1988), Rogers(1988) y Ropelewski y Halpert(1987,1989) identificaron un incremento de precipitación en el sudeste de Brasil, norte de Argentina, Paraguay y Uruguay asociado con eventos El Niño.

Por otro lado un aspecto relevante de la circulación en verano en Sudamérica es el Jet de Capas Bajas (SALLJ). El SALLJ se relaciona con el transporte de humedad desde el Amazonas hacia el sur del Brasil y el norte de Argentina. El SALLJ tiene un rol activo en la posición e intensidad de la Convergencia del Atlántico Sur (SACZ) y de la intensidad y la convección a la salida del jet en la parte sudeste de Sudamérica. La evapotranspiración en la selva brasileña, el calor latente y sensible liberado en el altiplano y el SALLJ juegan un rol importante en el funcionamiento del monzón de América del Sur. La zona del noreste argentino es donde se encuentran los sistemas convectivos de mesoescala en su máximo desarrollo.

Episodios intensos o débiles del verano austral están relacionados con crecimiento o decrecimiento de transporte de humedad desde la cuenca del Amazonas y la mayor o menor probabilidad de eventos extremos en el sudeste de Sudamérica corriente abajo del jet.

Nicolini M. et al. (2002) estudiaron el rol preponderante de los eventos Chaco Jet en capas bajas (CJE) en el transporte de humedad desde los trópicos a los extratropicos y la ocurrencia de eventos extremos de precipitación diaria al este de los Andes, entre las latitudes 25°S y 40°S en Argentina y encontraron que la evolución sinóptica durante los episodios Chaco Jet está dominada por un patrón de ondas baroclínicas, una baja térmica y un corrimiento del anticiclón del Atlántico hacia el continente.

Generalmente la iniciación de grandes MCC's es hacia la tarde o noche (Velasco y Fritsch, 1987), al este de los Andes. Esta formación ocurre típicamente hacia la noche evolucionando hacia la mañana siguiente hasta su maduración y decaimiento. Las causas de la formación nocturna se atribuyen a: a) una circulación a gran escala entre la montaña y el valle, entre los Andes y la cuenca del Paraná, proveyendo una convergencia en capas bajas en el valle (Nicolini et al., 1987), b) la intensificación del SALLJ durante la noche, debido al desacople de la capa límite convectiva y al calentamiento diferencial sobre la pendiente del terreno o c) la intensificación de la baja térmica durante los eventos del Chaco Jet cuando el ciclo diurno del LLJ tiene una amplitud mayor.

Sarochar et al. (2003) determinaron que en la región de la Pampa Húmeda la frecuencia de la precipitación de origen convectivo es muy superior a la de origen estratiforme, en los meses cálidos de verano y primavera. En la temporada fría cobra más relevancia la precipitación estratiforme. La precipitación de tipo convectivo prevalece sobre la de tipo estratiforme casi todo el año, salvo en los meses invernales que es cuando la circulación de los oestes predomina en la Pampa Húmeda haciéndose más frecuente la actividad frontal. La nubosidad de tipo estratiforme cobra mayor importancia relativa. Los mayores rendimientos de la precipitación convectiva, especialmente en la temporada cálida, podrían relacionarse con la intensificación del Anticiclón del Atlántico Sur y el aporte de humedad. Los valores de principio de otoño podrían deberse a la irrupción de las primeras masas de aire frío que generan tormentas frontales.

Algunos autores mostraron la relación entre el comportamiento de la precipitación y la respuesta hidrológica en eventos ENOS para la región del Alto Paraná que tiene una importante señal en la precipitación durante estos eventos (Kousky y otros 1984; Barros y Silvestre, 2001; Vargas et al., 1999). De la misma manera Ropelewski y Halpert (1996) y Vargas et al. (2005) mostraron una importante señal en la precipitación durante eventos ENOS para la cuenca del Uruguay. Compagnucci y Vargas (1998) y Compagnucci y Agosta (2006) estudiaron la relación entre eventos ENOS y ríos de Cuyo.

Scian (1999) estudió la relación entre la precipitación e índices de la circulación atmosférica. En Scian (2001) se analizan las fases del Índice de Oscilación del Sur y su relación con los corrimientos de la mediana de precipitación mensual en la Pampa argentina.

Almeira (2005) mostró que para la región del Litoral argentino durante la primavera, fines del verano y comienzo del otoño, los valores del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) están relacionados con Índice de Oscilación del Sur (SOI) y Región Niño 3 (N3), actuando éstos como predictores con antelaciones de 1 a 5 meses. Mientras que el IPE se relaciona con las anomalías de la temperatura del mar (SSTa) del Océano Atlántico(Pacífico) para el final del verano, otoño, invierno y primavera (primavera, verano y principios del otoño), con mayores meses de antelación. Se destaca que es posible realizar una estimación de las anomalías de precipitación para la región del Litoral argentino prácticamente durante todo el año, mientras se elija adecuadamente las variables predictoras y sus tiempos de antelación.

Castañeda y Barros (2001), mostraron que la temperatura del mar y la temperatura de superficie de grandes regiones hemisféricas modulan la variación interanual de la precipitación estacional de la región oeste del país. A ello se suma la influencia de otros procesos de alta frecuencia interanual y otros aleatorios. Sugieren que las tendencias y las fluctuaciones interdecádicas de la precipitación regional aparecen gobernadas por la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar de ciertas zonas y de la temperatura superficial promedio de grandes regiones del Hemisferio Sur. La inercia de estas temperaturas requiere de tiempos mayores o iguales a la década para que sus variaciones afecten las precipitaciones de la región.

Doyle y Barros (2002) remarcaron la importancia de la temperatura superficial del mar (SST) en el oeste del Atlántico Sur influenciando la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ). Carvalho et al. (2002) mostraron que la mayoría de los eventos extremos en el sudeste de Brasil ocurren cuando la SACZ es fuerte.

Estudios anteriores evidencian que en algunas regiones del país se han producido cambios importantes en la precipitación. Hoffmann, J. (1987) estudió el corrimiento hacia el oeste de las isohietas de promedios decádicos.

Castañeda y Barros (1994) encontraron tendencias anuales de la precipitación positivas al este de los Andes en el período 1916 -1991. La mayor parte de la tendencia positiva se da a partir de fines de la década del '50. Sugirieron que algunas características de la circulación que influyen en la variación estacional de la precipitación se intensificaron en los últimos 35 años de ese período. Las

tendencias de la precipitación en el período 1926-1956 en muchos casos observan comportamientos simétricamente inversos a los del período 1956-1991.

Barros et al. (2000) detectaron recientes tendencias de precipitación positiva al sureste de Brasil y norte de Argentina.

Schwerdtfeger y Vasino (1954) señalaron la existencia de fluctuaciones de baja frecuencia en la circulación regional e insinuaron la vinculación de la intensidad del flujo del oeste con las variaciones de baja frecuencia de la precipitación de la región subtropical argentina, zona este. La tendencia negativa en esta zona en el período 1931-50 estaría asociada a una disminución del gradiente bórico Buenos Aires-Punta Arenas, es decir una disminución del flujo oeste sobre la Patagonia.

Minetti y Vargas (1983) asociaron las diferencias importantes de precipitación entre las décadas 1941-1950 y 1951-1960 con enfriamiento generalizado en la zona continental del país.

Minetti (1998) y Minetti et al. (2003) encontraron que en el período 1931-1999 había un decrecimiento sostenido en la precipitación anual en un gran área al oeste de la cordillera de los Andes y un incremento al este de la misma, en el centro de la Argentina. Identificaron una tercera región en el norte de Argentina que había tenido un incremento sostenido hasta la década del '80.

Rusticucci y Penalba (2000) encontraron tendencias similares al oeste de la cordillera. Valdivia tuvo un gran decrecimiento en el total anual de precipitación del período 1901-1990, principalmente por un decrecimiento de la precipitación invernal. Sugieren que pudo deberse a un cambio en el comportamiento de los sistemas frontales de latitudes medias como habían encontrado otros autores en Australia.

Moyano et al. (1991) relacionaron series de precipitación del noreste con caudales de la cuenca del Río Paraná, en el período 1902-1989. Concluyeron que las pruebas marcan una tendencia positiva en los últimos 20 años, tanto en la serie de precipitación como en la de caudales.

Liebmann et al. (2004) identificaron tendencias lineales estacionales en la región central de Sudamérica durante 1976-1999 y mostraron la tendencia más grande positiva ocurrida al sur de 20° S durante enero-marzo y centrada al sur del Brasil, mientras que en el período 1948-1975 la tendencia era positiva pero con menos de la mitad de la pendiente. La tendencia es debido a un incremento en el porcentaje del número de días lluviosos y en el promedio de la cantidad de días lluviosos. La tendencia en la precipitación está relacionada a una tendencia positiva de la temperatura superficial del océano Atlántico contiguo. La tendencia en el Atlántico parece resultar de un decrecimiento en la agitación mecánica y surgencia costera asociada con un decrecimiento en la potencia en el lado oeste de la circulación asociada con el Anticiclón del Atlántico Sur.

Otro factor es el impacto de los cambios del uso del suelo (incluyendo la urbanización y las prácticas agrícolas de irrigación (Nuñez et al., 2007).

4.3 Máximos de precipitación diaria

Para el análisis del comportamiento de las precipitaciones extremas en el país, parte continental, se tomaron las máximas precipitaciones diarias en el período 1961-2006, para aquellas estaciones que observaron al menos 25 días en el mes, obteniendo así 3536 datos para 91 estaciones. Todas las estaciones consideradas tuvieron entre 34 y 43 años de información.

Se obtuvieron 91 estaciones a las cuales se las agrupó por cuadrantes de 1° de longitud por 1° de latitud. Se obtuvieron así 73 cuadrantes con información de precipitación máxima en 24 horas, de 12 UTC de un día a 12 UTC del siguiente.

En la Fig 4.1 se muestran los máximos observados en estas estaciones.

El máximo absoluto fue en la estación Cerro Azul INTA, Provincia de Misiones el 29 de septiembre de 2005, con 444 mm en 24 horas.

Cabe mencionar que los valores máximos son muy sensibles a los faltantes de observación y dependen de la densidad de la red para poder capturarlos.

En la Fig 4.2 se muestran las isocronas de los años en que esos máximos se produjeron. En esta figura se observa la isocrona del año 1980 en la Provincia de Buenos Aires donde se produjeron inundaciones. También se puede observar que las máximas precipitaciones en el noreste de nuestro país y en la Patagonia se produjeron entre los años 1992 y 1998.

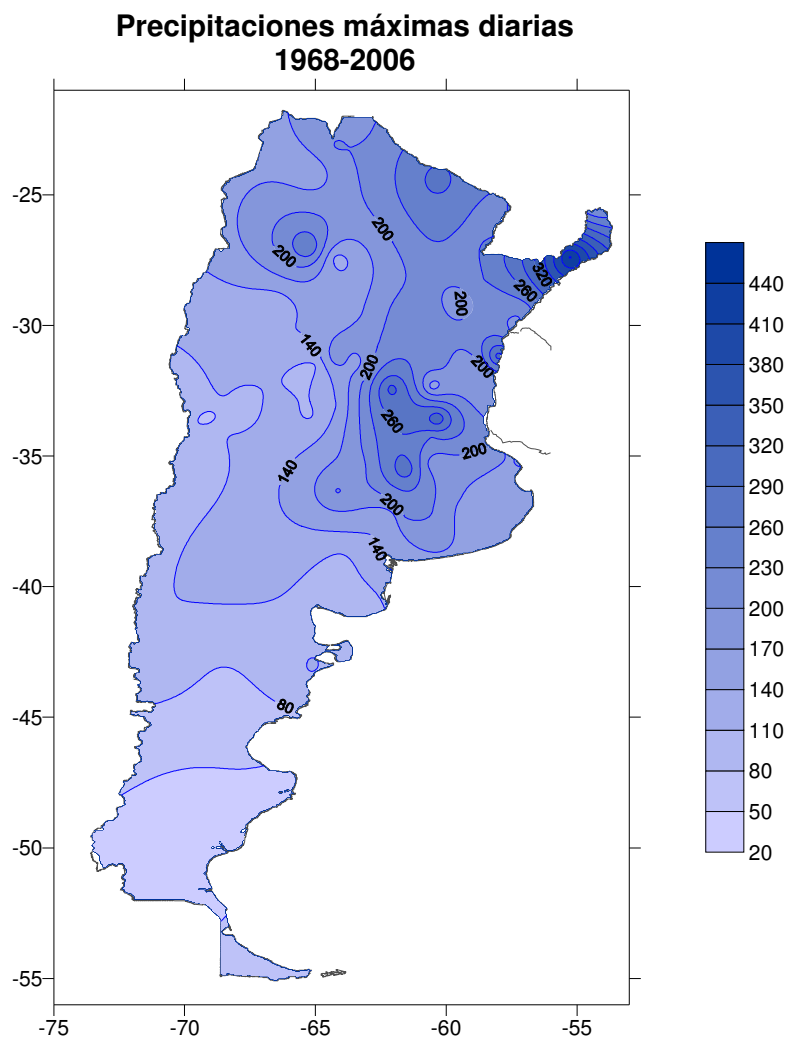


Fig. 4.1 Extremos de precipitación en 24 hs para el período 1961-2006

Isocronas de precipitaciones máximas diarias 1968-2006

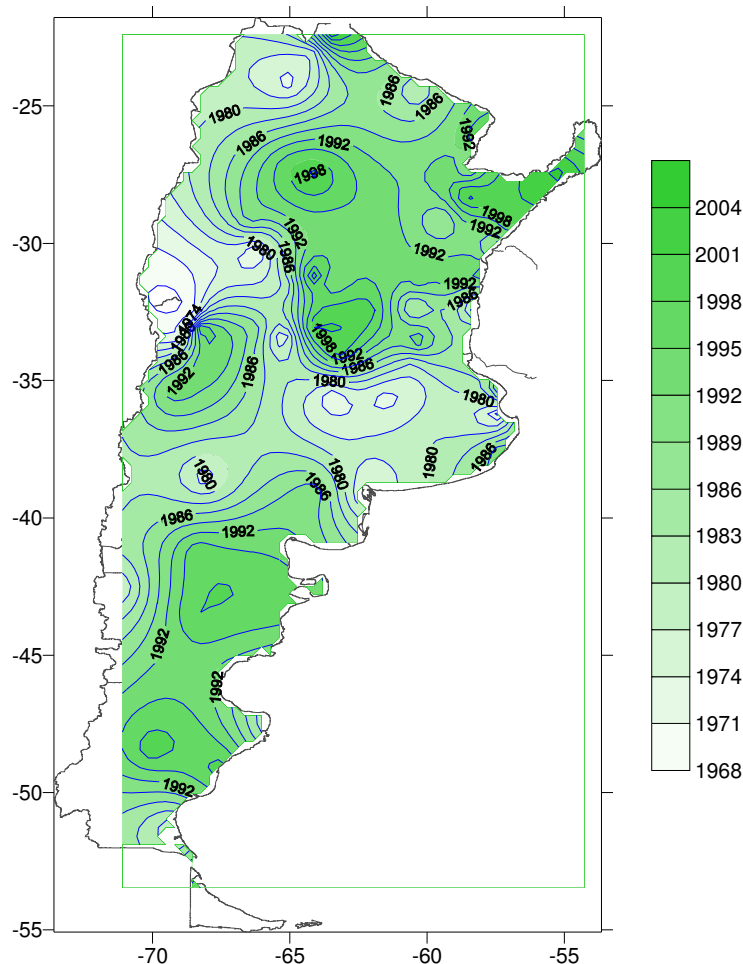


Fig 4.2 Isocronas de los años en los que se produjeron los extremos de precipitación en 24 hs, período 1961-2006

En la Provincia de Entre Ríos se cuenta con una red pluviométrica extensa (158 estaciones) que permitió comprobar la coherencia de grandes precipitaciones (>150 mm.) en los años 1997, 1998, 2000 y 2005. En el caso de los días 6/3/1998 y 6/4/2000 se midieron precipitaciones diarias superiores a 250 mm. en varias estaciones. Estas fechas se incluyen en este trabajo al sólo efecto de que queden documentadas para futuros investigadores.

a) Evento marzo 1998

La situación sinóptica de día 6/03/98 mostraba que había actividad convectiva prefrontal sobre el centro y sur del Litoral que originaron lluvias intensas sobre el noreste de Entre Ríos (133mm en Concordia en 6 horas (entre 12 UTC y 18 UTC). Persistió el aire cálido y muy húmedo sobre el Litoral, norte de la zona Central y norte de Buenos Aires, donde se registraron precipitaciones aisladas. En el norte del litoral las temperaturas superaron los 35°C y se observaron temperaturas de rocío superiores a 24 °C.

El día 7/3/1998 el frente con lento desplazamiento al NE provocó tormentas en el Litoral, en Concordia 303 mm. y en Colonia Ayuí (lat 31° 12', long 58° 02') y en Eigenfeld (lat 32° 5', long 60° 15') 300mm. en 24 horas (de 12UTC a 12 UTC del día siguiente).

b) Evento abril 2000

El día 5/04/2000 un anticiclón de 1029 hPa permaneció en el Atlántico Sur originando circulación con componente norte durante 3 días. El aire con temperaturas de rocío de 20°C llegó hasta el centro de Entre Ríos. Se produjeron precipitaciones abundantes en Entre Ríos, en Rosario del Tala (lat 32° 18', long 59° 8') 260 mm en 24 hs.

El día 6/04/2000 continuó el anticiclón. Se desarrollaron MCS's en el aire caliente en el noroeste (NOA), norte de zona central y sur del Litoral (Don Cristóbal (lat 32° 6', long 57° 57') 355mm en 24 hs., Villa Fontana (lat 31° 55', long 60° 26') 330 mm, en 24 hs.), llegando las tormentas hasta Colonia. El jet llegó al norte de Buenos Aires.

El día 7/04/2000 una ciclogénesis sobre la zona frontal, provocó intensas lluvias y tormentas sobre el norte de Buenos Aires y sur del Litoral; Betbeder (lat 32° 22', long 59° 56') con 260 mm. en 24 horas, Espinillo (lat 31° 50', long 60° 14') con 255 mm en 24 hs. Paraná y Sauce Viejo superaron los 200 mm. durante las últimas 30 horas.

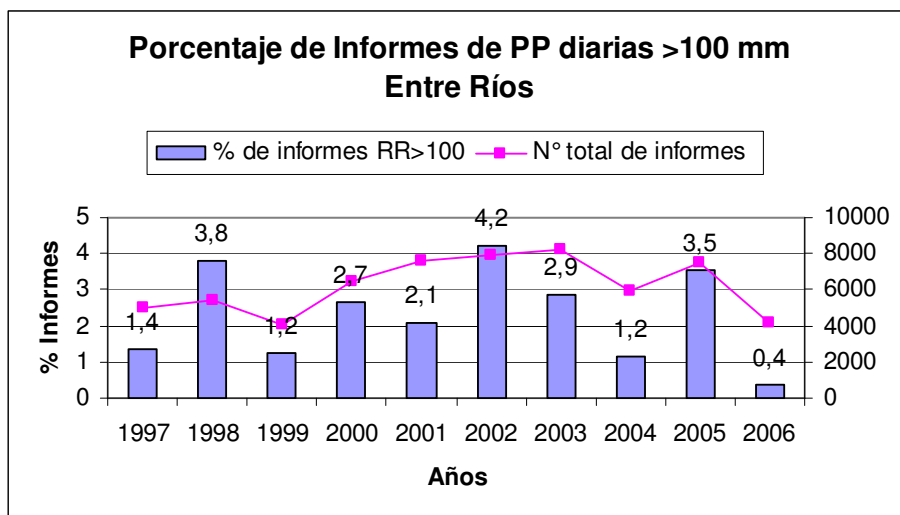


Fig 4.3 Cantidad anual de informes diarios de precipitación y % con RR>100 mm Entre Ríos

En la Fig 4.3 se muestra el porcentaje de informes por año en que alguna de las estaciones de la red de la Provincia de Entre Ríos (158 estaciones) midió precipitaciones mayores a 100 mm, en el período 1997-2006. Los años 1998, 2002 y 2005 muestran más de 150 informes con precipitaciones diarias mayores a 100 mm. Cabe destacar que en el año 1998 las precipitaciones intensas fueron relativamente más, respecto de la cantidad total de informes con precipitación en la Provincia. Los años en que ocurren estos máximos relativos en el número de informes de precipitaciones intensas fueron

mencionados anteriormente cuando se analizó la frecuencia anual de índices en el rango de muy inestables.

4.4 Índices de precipitación

Con el objeto de estudiar los diferentes aspectos de la precipitación con énfasis en los extremos, se definieron los siguientes índices anuales para examinar cambios temporales, en la distribución completa así como en los extremos, utilizando datos diarios de precipitación para el período 1959-2002.

Los índices que se usaron fueron los definidos por el Climate Variability and Predictability Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (WMOCCI / WCRP y CLIVAR/ETCCDMI), con el objeto de poder compararlos con los calculados por otros países bajo la misma norma.

Estos índices utilizados se pueden dividir en categorías:

- a) percentiles (R95p y R99p) que capturan los eventos más extremos en el año.
- b) absolutos (RX1day y RX5day) el máximo de precipitación para un período
- c) umbral (R10mm y R20mm) número de días en que el valor de la precipitación estuvo por encima o por debajo de un umbral
- d) duración (CDD y CWD) longitud del período seco o período húmedo más largo
- e) otros de gran impacto social (PRCTOT y SDII), cantidad de precipitación anual y promedio de la precipitación para días lluviosos.

Se definió *día lluvioso* cuando la precipitación fue mayor o igual a 1 mm., *día seco* con precipitación menor a 1 mm. Este valor de definición de día lluvioso evita la falta de información y medición de precipitaciones pequeñas, fuente de error como ya se mencionó en el Capítulo I.

La tabla siguiente muestra la definición de cada uno de los índices.

RX1day	Precipitación máxima diaria anual
RX5day	Precipitación máxima anual de 5 días consecutivos
SDII	Promedio de la precipitación para días lluviosos ($RR \geq 1\text{mm}$)
R10 mm	Cantidad anual de días de fuerte precipitación ($\geq 10\text{mm}$)
R20 mm	Cantidad anual de días de muy fuerte precipitación ($\geq 20\text{mm}$)
CDD	Máximo anual de número de días consecutivos secos
CWD	Máximo anual de número de días consecutivos lluviosos
PRCPTOT	Precipitación total anual para días lluviosos
R95p	Precipitación total anual cuando $RR > 95^{\text{th}}$ percentil de 1960-1990
R99p	Precipitación total anual cuando $RR > 99^{\text{th}}$ percentil de 1960-1990

A modo de ejemplo, estos índices se calcularon en 11 estaciones en el área al este de 65°W y norte de 37°S de nuestro país tal como lo muestra la Fig. 4.4.

Como los índices de extremos son sensibles a los cambios de lugar de la estación, la exposición del pluviómetro y la práctica del observador, se realizaron controles de datos considerando los metadatos correspondientes a cada estación y las mediciones inválidas e inhomogeneidades. Por ejemplo se tuvieron en cuenta las precipitaciones acumuladas por falta de observación comparando con estaciones cercanas si las había.

La posible inhomogeneidad en los datos de precipitación por cambio del tipo de pluviómetro, tipo A (con canilla la que potencialmente podría haber tenido pérdida de agua) y tipo B (con probeta interna) no se ha dado en este período puesto que en la década de 1950 ya se utilizaban pluviómetros tipo B.

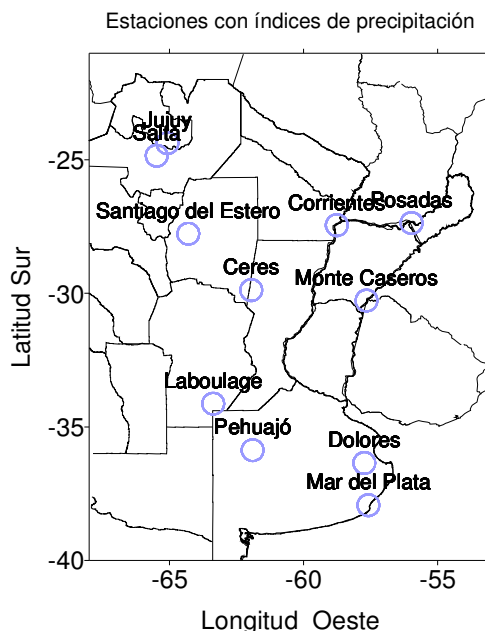


Fig. 4.4 Estaciones para el cálculo de los índices

Además del control de los datos originales de acuerdo a lo descripto en el Capítulo I se realizaron otros controles, p.ej. se revisaron y se corrigieron los datos que distaban en más de 3σ del promedio.

Los índices anuales no se calcularon si faltaban más de 15 días con datos.

Como los índices tienen una distribución no-gaussiana se decidió utilizar el test Kendall-Tau como una medida de la tendencia, basado en la pendiente del estimador (Kendall, 1938; Wilks, 1995).

Este estadístico no-paramétrico mide el orden relativo de todos los posibles pares de datos, donde el año es usado como variable independiente y el índice extremo como variable dependiente. El test de Kendall-Tau tiene el beneficio que permite comparar índices de estaciones con amplias diferencias en el total de precipitación.

En este trabajo se utilizaron las estaciones indicadas en la Tabla 4.1 con su respectivo record de datos en las que se disponía de más del 80% de años con información diaria.

Estación	Año de inicio	Año de fin	Lat	Long	Alt (m)
Ceres	1960	2002	-29,88	-61,95	88
Corrientes	1959	2002	-27,45	-58,77	62
Dolores	1959	2002	-36,35	-57,73	9
Jujuy	1960	2002	-24,38	-65,08	905
Laboulaye	1960	2002	-34,13	-63,37	137
Mar del Plata	1959	2002	-37,93	-57,58	21
Monte Caseros	1959	2002	-30,27	-57,65	54
Pehuajó	1959	2002	-35,87	-61,90	87
Posadas	1959	2002	-27,37	-55,97	125
Salta	1959	2002	-24,85	-65,48	1221
Santiago del Estero	1959	2002	-27,77	-64,30	199

Tabla 4.1

Se estudió la distribución espacial de la tendencia lineal en cada estación para diferentes índices.

En este trabajo una tendencia fue considerada estadísticamente significativa al nivel de 5%.

En las Fig. 4.5 a 4.14 se indica el valor de tendencia para cada estación, medidos según Kendall-Tau, para diferentes índices. Se utilizó el color azul para las tendencias significativas, en rojo para tendencias no significativas.

El primer índice analizado es la **tendencia del promedio de la precipitación anual para días lluviosos** (Fig. 4.5). Las tendencias son positivas en toda la zona con valores significativos para Laboulaye, Ceres y Mar del Plata.

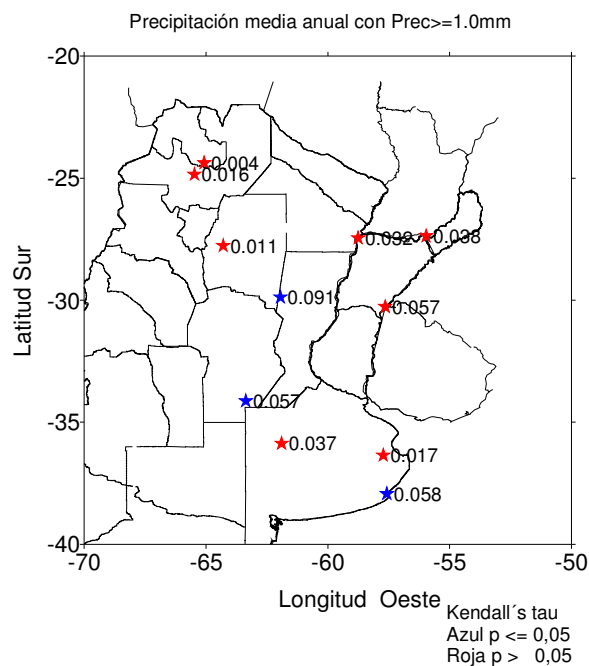


Fig. 4.5 Tendencia precipitación media anual con RR \geq 1 mm (SDII).

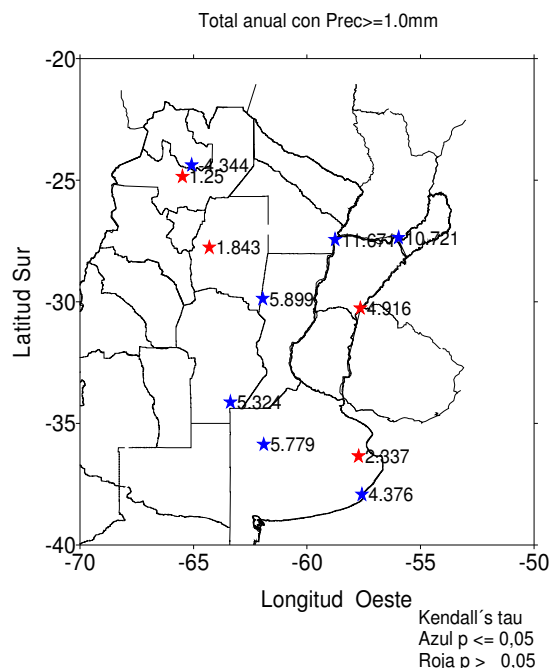


Fig. 4.6 Tendencia Precipitación total anual con RR \geq 1 mm (PRCPTOT).

En la Fig. 4.6, en cambio, se muestran **las tendencias para el índice PRCPTOT, total anual para días lluviosos**. La tendencia es significativa para casi toda la región. Sin embargo las diferencias entre Salta y Jujuy y entre Mar del Plata y Dolores son singularidades a estudiar. Entre Salta y Jujuy hay diferencias que tal vez estén asociadas a la geografía del lugar y entre Mar del Plata y Dolores las diferencias observadas en ese índice podrían asociarse a la posición relativa a la costa de cada una de ellas. En ambos casos las tendencias tienen el mismo signo y lo que varía es la rapidez del cambio entre cada par de estaciones.

En la Fig. 4.7 se muestra **la tendencia para el índice máximo anual de días consecutivos lluviosos**. Se observa un incremento en toda la zona, pero en ninguna estación con valores significativos. Esto indicaría que en toda la región analizada aumentan las secuencias de lluvia en días consecutivos.

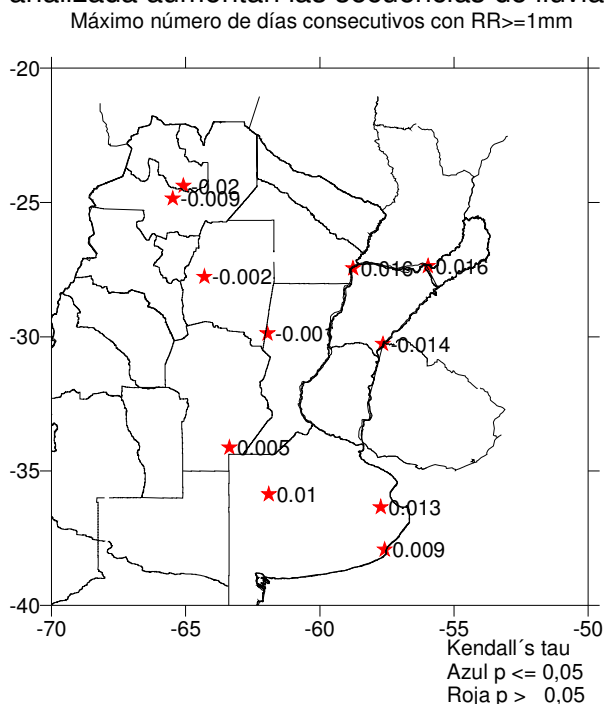


Fig. 4.7 Tendencia de máximo número de días consecutivos con $RR \geq 1\text{ mm}$ (CWD).

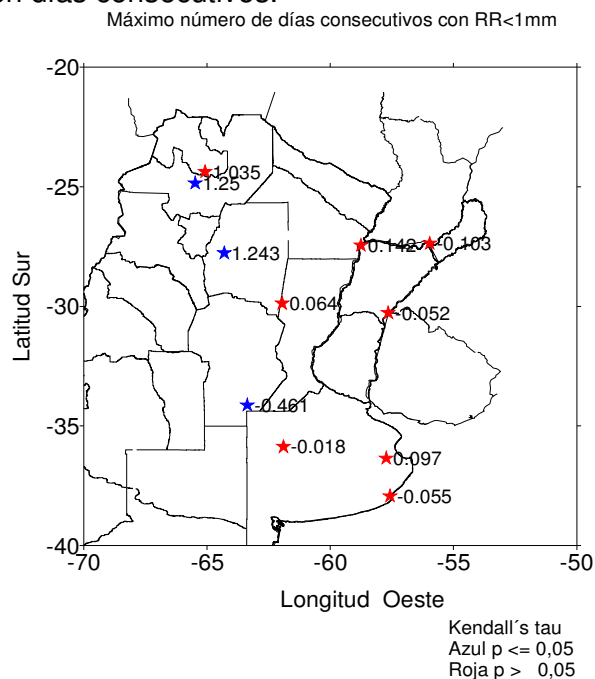


Fig. 4.8 Tendencia de máximo número de días consecutivos con $RR < 1\text{ mm}$ (CDD).

En la Fig. 4.8 se muestra **la tendencia del máximo anual del número de días consecutivos secos**. Se observa que la tendencia es significativa hacia el oeste de la región aquí analizada. Laboulaye es significativamente negativo. Pehuajó, Laboulaye, Mar del Plata (borde sur y sudoeste del área de análisis), Monte Caseros y Posadas (borde noreste del área de análisis) tienen tendencia negativa en el máximo anual del número de días consecutivos secos.

En la Fig. 4.9 se muestra la **precipitación total anual para aquellos días muy lluviosos** en que la precipitación fue mayor al percentil 95th. Se observan valores significativos para Corrientes, Ceres y Mar del Plata (borde sur y sudoeste del área de análisis), Monte Caseros y Posadas (borde noreste del área de análisis) tienen tendencia negativa en el máximo anual del número de días consecutivos secos.

En la Fig. 4.10 se muestra la **precipitación anual para aquellos días extraordinariamente lluviosos** en que la precipitación fue mayor que el 99th

percentil. Se mantiene la tendencia significativa para Corrientes y Mar del Plata.

Para ambas variables es importante destacar que las tendencias son significativas en el área de análisis lo que indica un comportamiento regional.

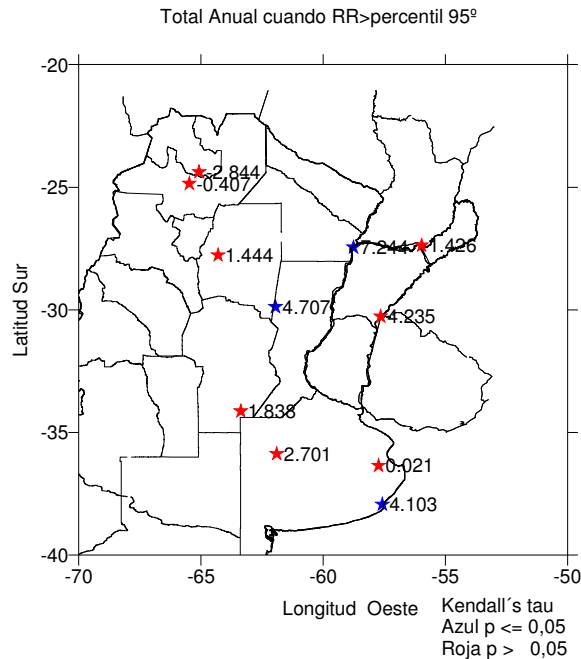


Fig. 4.9 Tendencia de precipitación total anual cuando RR> 95th percentil 1961-1990 (R95p)

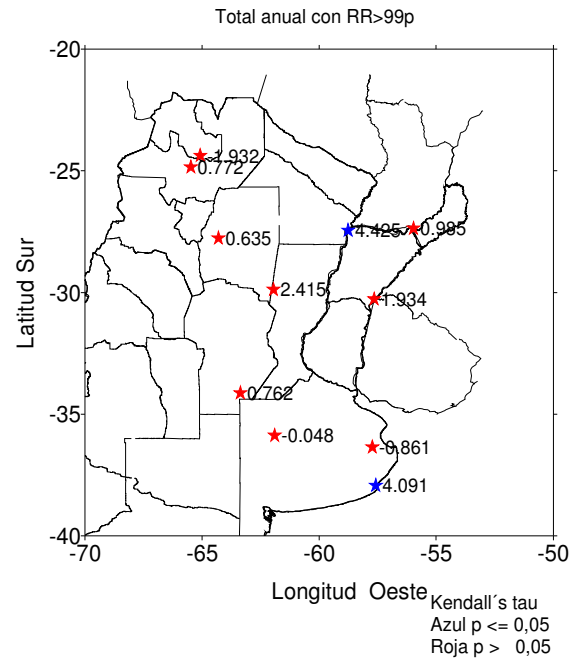


Fig. 4.10 Tendencia de precipitación total anual cuando RR> 99th percentil 1961-1990 (R99p).

En la Fig. 4.11 están representadas **las tendencias de precipitación en 24 horas máxima anual** y en la Fig. 4.12 las correspondientes a **precipitación en 5 días consecutivos máxima anual**. Ambas figuras muestran tendencias significativas para Corrientes y Ceres.

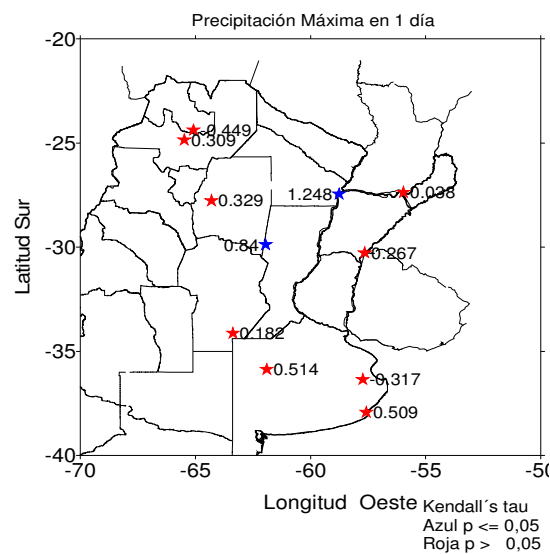


Fig. 4.11 Tendencia de precipitación máxima en 1 día (RX1day).

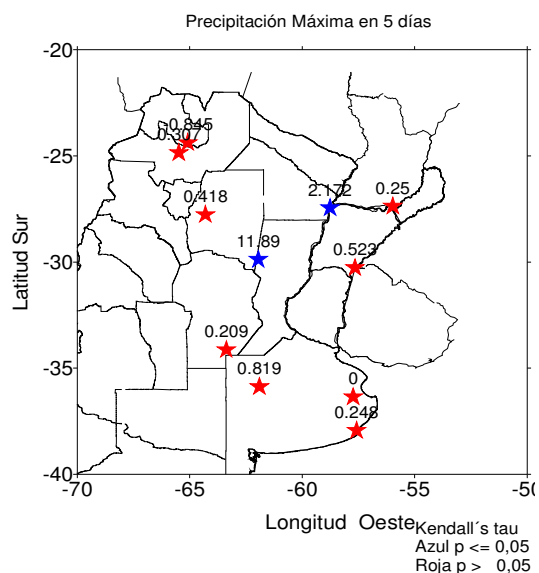


Fig. 4.12 Tendencia de precipitación máxima en 5 días (RX5day).

En la Fig. 4.13 se muestra **la tendencia del índice número anual de días con precipitaciones mayores o iguales a 10 mm.** y la Fig. 4.14 la correspondiente **al índice número anual de días con precipitaciones mayores o iguales a 20 mm.** En ambas figuras se observa tendencia significativa para Laboulage, Pehuajó y Posadas y en la primera se agrega Corrientes. En los últimos cuatro índices la mayor tendencia está ubicada en la región de la Argentina aproximadamente entre los meridianos 57 y 63°O al norte de 40°S donde hay un importante aporte de humedad del LLJ. Las formas **de la tendencia para la frecuencia de índices extremos, R10mm y R20mm** son muy similares a PRCPTOT (Fig. 4.6).

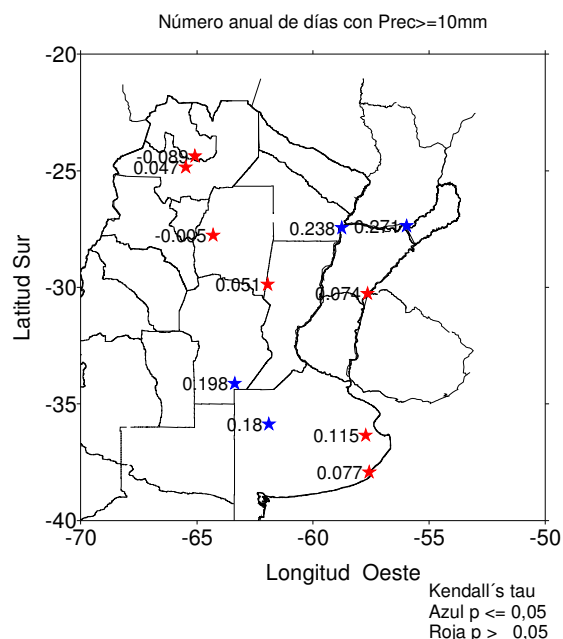


Fig. 4.13 Tendencia de número de días con precipitación ≥ 10 mm (R10mm).

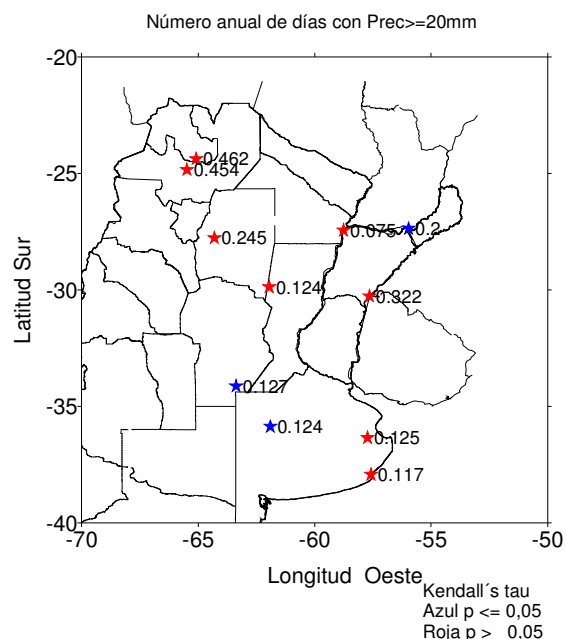


Fig. 4.14 Tendencia de número de días con precipitación ≥ 20 mm (R20mm).

En los índices de precipitación hubo una gran coincidencia en tendencia significativa para Corrientes, Ceres y Mar del Plata.

Los análisis realizados muestran que en muchos casos tanto Ceres como Mar del Plata son indicadores de tendencias importantes. Por consiguiente se consideró importante mostrar en detalle el comportamiento de los índices para Ceres y Mar del Plata.

4.4.1 Índices para la estación Ceres

En las Fig. 4.15 a 4.24 se muestra la evolución de los diferentes índices para la estación Ceres.

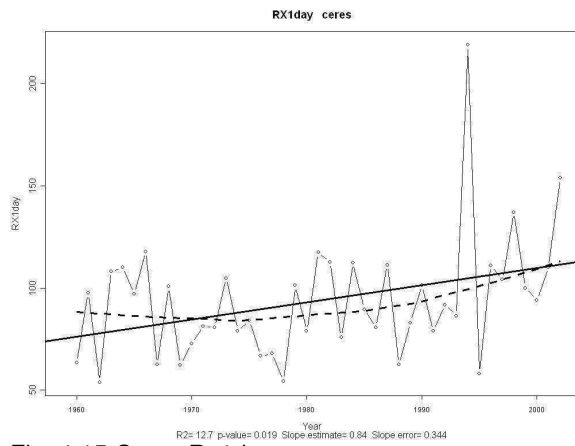


Fig. 4.15 Ceres Rx1day

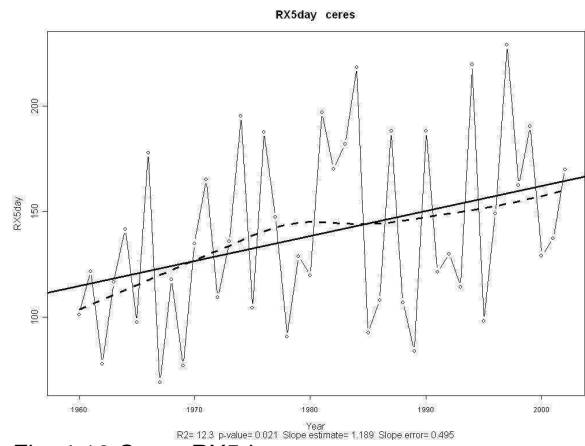


Fig. 4.16 Ceres RX5day

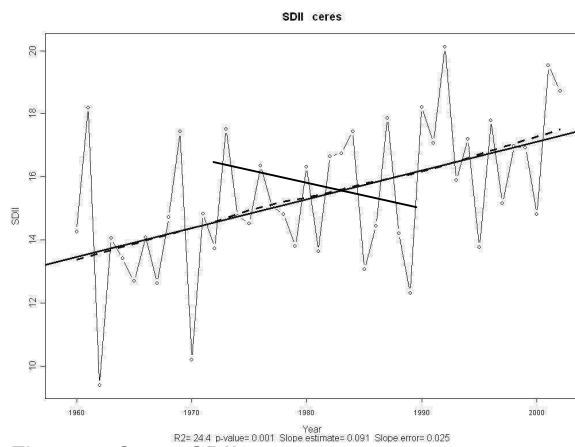


Fig. 4.17 Ceres SDII

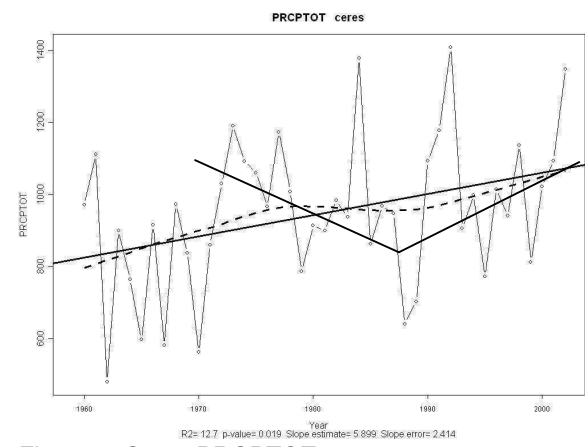


Fig. 4.18 Ceres PRCPTOT

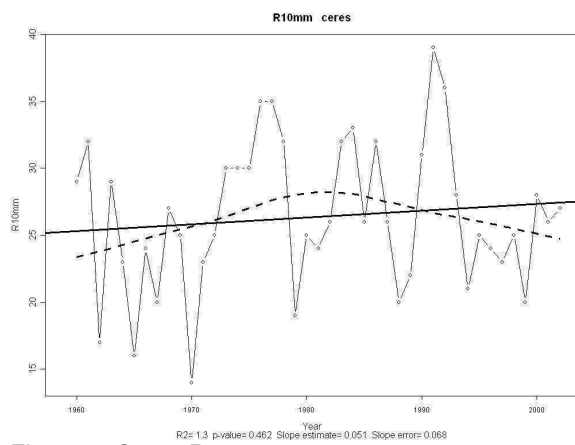


Fig. 4.19 Ceres R10 mm

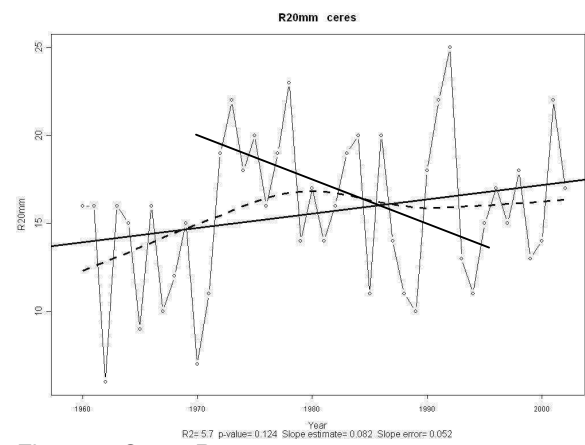


Fig. 4.20 Ceres R20 mm

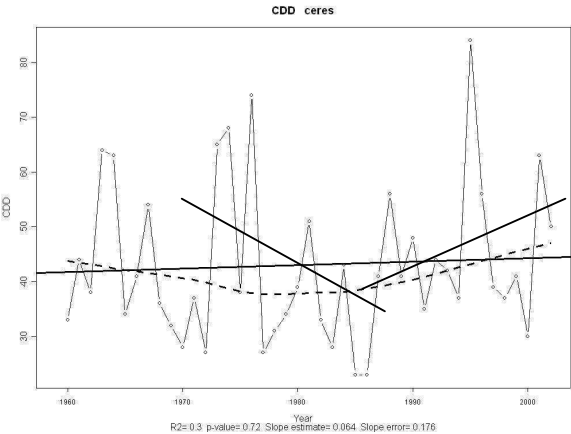


Fig. 4.21 Ceres CDD

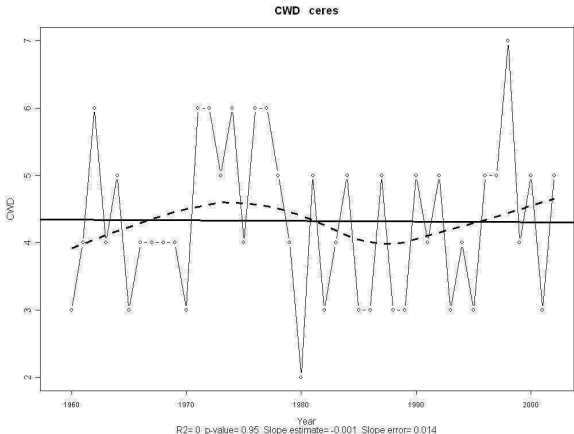


Fig. 4.22 Ceres CWD

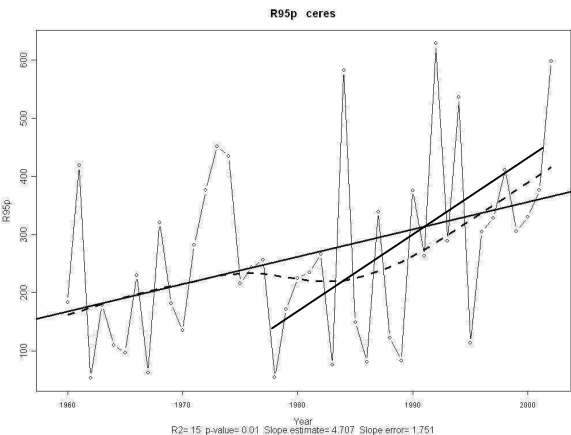


Fig. 4.23 Ceres R95p

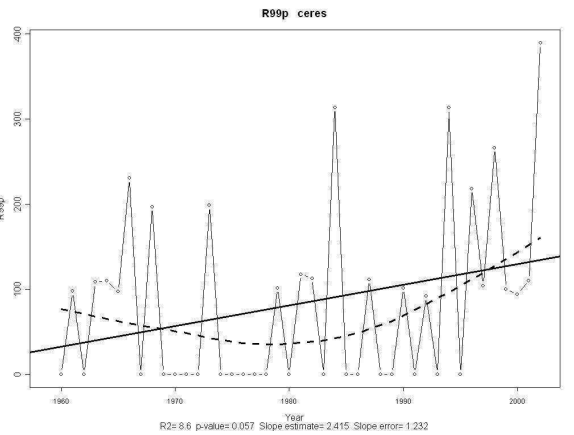


Fig. 4.24 Ceres R99p

El índice de precipitación máxima diaria anual (Rx1day) en Ceres tiene una tendencia lineal en todo el registro pero aumenta realmente a partir de 1978, observándose un salto significativo a partir de 1993, Fig. 4.15 con un aumento en los valores medios.

Si se analiza la frecuencia mensual de los máximos anuales de precipitación en 1 y 5 días, para Ceres, se obtienen las Tablas 4.2 y 4.3.

Frecuencia mensual de máximos anuales de precipitación en 1 día

Mes	%
1	25
2	16
3	16
4	9
5	2
7	2
9	2
10	9
11	9
12	9

Tabla 4.2

Frecuencia mensual de máximos anuales de precipitación en 5 días

Mes	%
1	18
2	14
3	23
4	7
5	2
10	2
11	18
12	16

Tabla 4.3

Los meses de mayor frecuencia, en los que se producen los máximos anuales de precipitación en 24 horas, son los meses de enero a marzo, con un máximo en enero (Tabla 4.2) y para máximos en 5 días en los meses de noviembre a marzo, con un máximo en marzo (Tabla 4.3).

El índice de precipitación máxima anual en 5 días consecutivos (Rx5day) aumenta en todo el período, con una gran variabilidad interanual, pasando de 50 días por año a más de 200 días por año, Fig. 4.16. Tal como se mostró en la Tabla 4.3 el mes de marzo es donde se produce la mayor frecuencia en esta variable.

El índice promedio anual de precipitación para días lluviosos (SDII) crece en el período 1960-1973 y decrece luego hasta el año 1989 para crecer nuevamente hacia el final del período, Fig. 4.17.

El índice precipitación total anual para días lluviosos (PRCPTOT) muestra en general una tendencia positiva para todo el período pero hay que tener en cuenta que presenta una tendencia decreciente en el período 1970-1990, con períodos más largos entre máximos y mínimos relativos que en el período anterior, aunque los valores mínimos no alcanzan los valores anteriores a 1970, Fig. 4.18.

El índice cantidad anual de días con fuertes precipitaciones (R10mm) aumentó a partir de 1970, aunque en la década del '90 es levemente menor que en las dos décadas anteriores, Fig. 4.19. Este comportamiento tal vez podría asociarse a las características cada vez más estables de la atmósfera tal como fue mostrado en el Capítulo III, cuando se analizó el comportamiento de los índices de inestabilidad.

El valor medio del índice cantidad anual de días con muy fuertes precipitaciones (R20mm) muestra un aumento a partir de 1970, y a diferencia del gráfico anterior se observa que se mantiene constante durante la última década, Fig. 4.20. Esto estaría indicando que la cantidad de días con precipitaciones muy fuertes, cuya probabilidad de ocurrencia es más baja que las asociadas al índice analizado en la figura anterior, no se verían afectados por cambios lentos en la estabilidad de la atmósfera.

El índice número de días consecutivos secos (CDD), Fig. 4.21 muestra un aumento en las últimas dos décadas. No así el índice de número de días consecutivos húmedos (CWD) que no muestra grandes cambios en este mismo período, Fig. 4.22.

El índice cantidad anual de precipitación cuando RR está por encima del percentil 95th (R95p), Fig. 4.23 muestra un fuerte aumento a partir de 1984 aproximadamente. El análisis del índice cantidad anual de precipitación cuando RR está por encima del percentil 99th (R99p) se mantuvo en promedio en los menores valores de la serie hasta 1995 aproximadamente con un aumento importante en los valores medios hacia el final del período, Fig. 4.24.

De lo anterior resulta que pareciera que en Ceres la precipitación se comporta de una manera diferente en las dos últimas décadas respecto del período anterior, con aumento en la secuencia de días secos, fuerte aumento en la cantidad anual de precipitación cuando RR está por encima del percentil 95th (R95p). La secuencia de días húmedos más prolongados muestra un aumento importante a partir de 1995. Combinando los resultados se puede decir que este aumento en la secuencia de días húmedos podría pensarse asociada a precipitaciones mas intensas, alcanzando valores mayores que en décadas anteriores.

4.4.2 Índices para la estación Mar del Plata

En la Figs. 4.25 a 4.34 se muestra la evolución de los diferentes índices para la estación Mar del Plata.

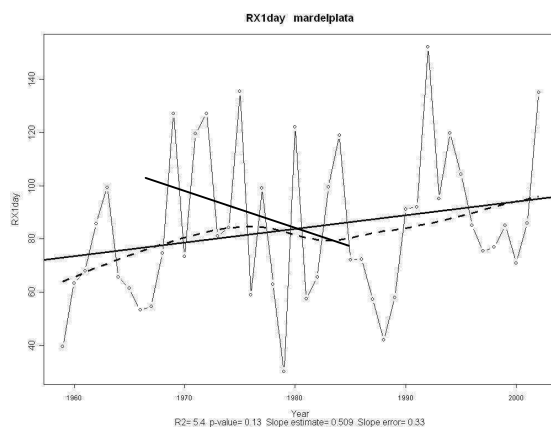


Fig. 4.25 Mar del Plata RX1day

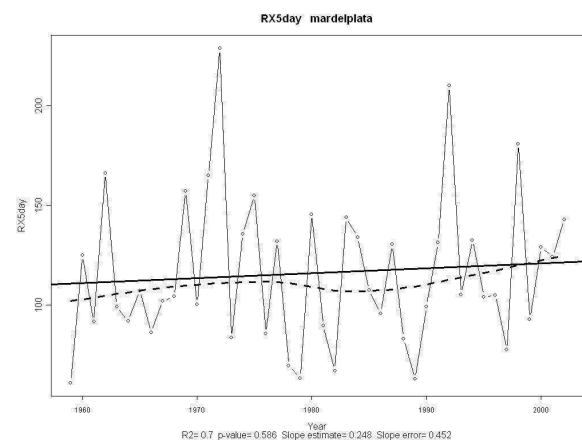


Fig. 4.26 Mar del Plata RX5day

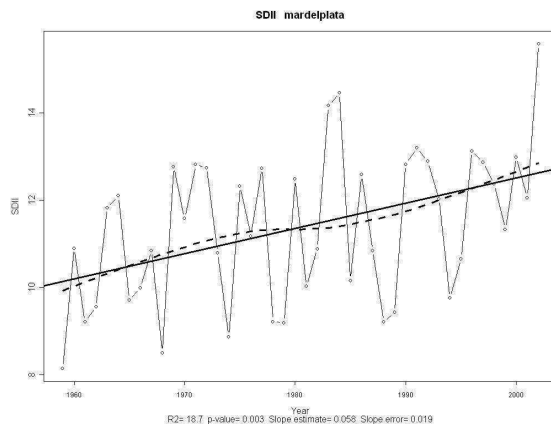


Fig. 4.27 Mar del Plata SDII

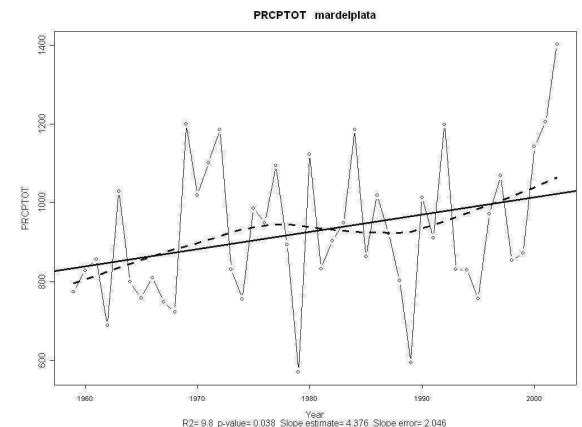


Fig. 4.28 Mar del Plata PRCPTOT

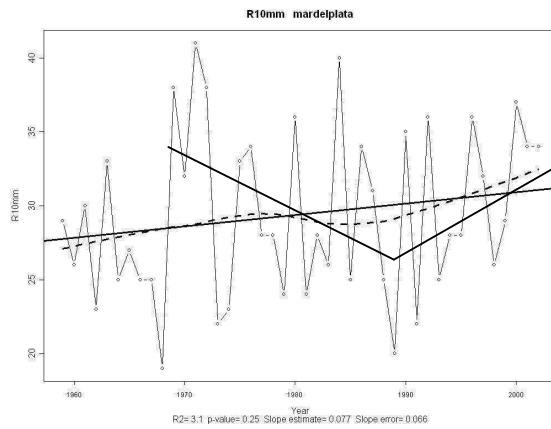


Fig. 4.29 Mar del Plata R10 mm

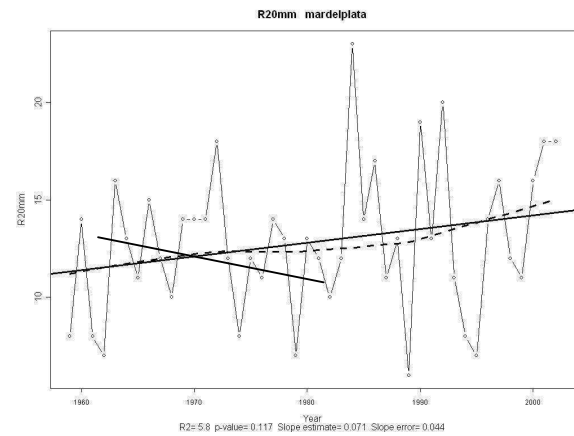


Fig. 4.30 Mar del Plata R20 mm

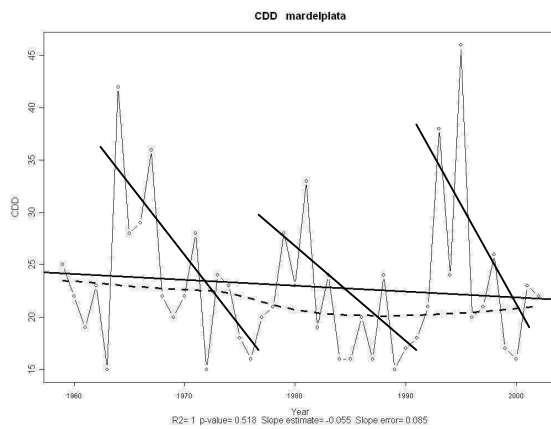


Fig. 4.31 Mar del Plata CDD

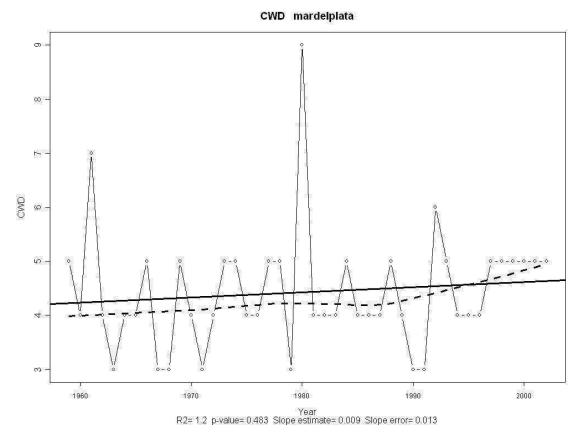


Fig. 4.32 Mar del Plata CWD

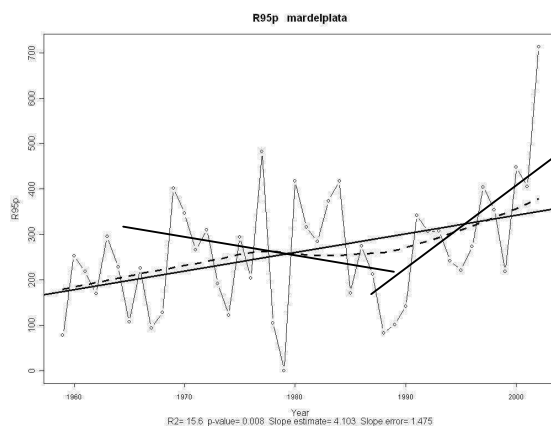


Fig. 4.33 Mar del Plata R95p

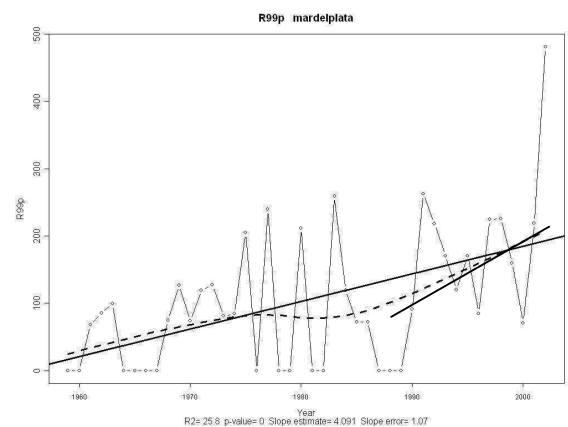


Fig. 4.34 Mar del Plata R99p

El índice de precipitación máxima diaria anual (Rx1day) en Mar del Plata tiene una tendencia positiva en todo el período, pero se puede destacar que hay un aumento significativo a partir de 1989, Fig. 4.25.

El índice de precipitación máxima anual en 5 días consecutivos (Rx5day) crece levemente durante todo el período alcanzando un máximo relativo en 1977 aproximadamente y otro máximo a fin del período de análisis aunque hay que pensar que son poco relevantes, no muestran cambios importantes en los valores medios del índice, Fig. 4.26.

El índice promedio anual de precipitación para días lluviosos (SDII) crece en todo el período, pasando de 10 mm al principio del período a 13 mm al final del mismo, indicando un aumento en promedio del 30%, Fig. 4.27.

El índice precipitación total anual para días lluviosos (PRCPTOT) muestra una tendencia creciente en todo el período aumentando en un 25% la precipitación total anual. En un análisis mas detallado se puede decir que en el período 1968-1977 se observa una tendencia creciente, luego una tendencia decreciente que finalmente se comienza a recuperar a partir de 1990, con un valor para el año 2002 no alcanzado anteriormente, Fig. 4.28.

El índice cantidad anual de días con fuertes precipitaciones (R10mm) aumentó significativamente partir de 1968, aunque en la década del '80 es levemente menor que en las décadas anterior y posterior, Fig. 4.29.

El índice cantidad anual de días con muy fuertes precipitaciones (R20mm) aumentó a partir de 1984, con valores superiores a períodos anteriores y con mayor variabilidad, Fig. 4.30.

El índice número de días consecutivos secos (CDD), Fig. 4.31 muestra una tendencia general negativa. Sin embargo es interesante destacar los tres períodos contenidos en el registro general con fuertes tendencias negativas en este índice. Un período se extiende aproximadamente desde 1964 hasta 1975, otro desde 1980 hasta 1990 y el último desde 1992 hasta el final del período. Los máximos relativos en cada uno de estos subperíodos tienen su máximo representante en el último período.

El índice número de días consecutivos húmedos (CWD) se mantuvieron prácticamente constantes, excepto en el año 1980 con un máximo relativo muy significativo, Fig. 4.32.

Los índices cantidad anual de precipitación cuando RR está por encima del percentil 95th (R95p), Fig. 4.33 y del percentil 99th (R99p) muestran tendencia positiva pero se puede destacar que aumentaron a partir de 1989 hasta el final del período, Fig. 4.34. En ambos índices se muestra un máximo absoluto en el año 2002, muy por sobre los valores de todo el período.

De los resultados anteriores surge que hubo un aumento significativo de la máxima precipitación diaria, a partir de 1989, con aumento de precipitaciones muy fuertes (mayores a 20mm) a partir de 1984.

4.4.3 Índices en la región sur de Sudamérica

El análisis previo del comportamiento de los índices puede verse en el contexto de la región del sur de Sudamérica, tal como fue analizado en Haylock M. et al. (2006).

Los autores mostraron las tendencias lineales de los índices definidos, según Kendall Tau, en el contexto general de Sudamérica (Fig. 4.35), “+” indica incremento y “O” decrecimiento.

La metodología para el cálculo de los índices fue la misma en todos los países del mundo con el objeto de poder compararlos. Los resultados que se muestran se obtuvieron en un taller de trabajo con la participación de representantes de diferentes países de Sudamérica, en el que participó la autora de esta Tesis.

Los mapas de los índices muestran grandes regiones de cambios coherentes estadísticamente significativos en varias estaciones, con $p\text{-level} < 0,05$ (negrita).

El modelo de tendencia en el índice PRCPTOT muestra: a) más húmedo al sudeste de Brasil, Paraguay, Uruguay y noreste de Argentina; b) más seco al sur de Chile y sudoeste de Argentina, coherente con la disminución de tormentas en Neuquén en la Fig. 3.7 del Capítulo III; c) Punta Arenas fue significativamente más húmedo. Esta estación muestra tendencia positiva significativa en varios índices. Esto podría ser explicado por ser una estación muy marítima, como consecuencia de aumento en el aporte de humedad.

También se estudió, en este trabajo, la relación de estas tendencias con la temperatura superficial del mar. Este estudio reveló que el cambio a un SOI más negativo en general ha tenido un efecto importante en la tendencia de la precipitación regional y que el marcado decrecimiento en muchos de los índices de precipitación en varias estaciones en el sur de Chile y Argentina pueden ser explicadas mediante un modelo canónico reflejando un debilitamiento de la vaguada continental conduciendo marcadamente hacia el sur las trayectorias de las tormentas. Esta señal es un cambio observado en latitudes similares en otras partes del hemisferio sur.

Los mapas de los índices muestran grandes regiones de cambios coherentes estadísticamente significativos en varias estaciones, con $p\text{-level} < 0,05$ (negrita).

Groisman et al. (2005) encontraron incrementos en precipitaciones muy intensas extendidos a lo largo de latitudes medias, definidas como las precipitaciones diarias en el 0.3% más alto de la distribución de frecuencias.

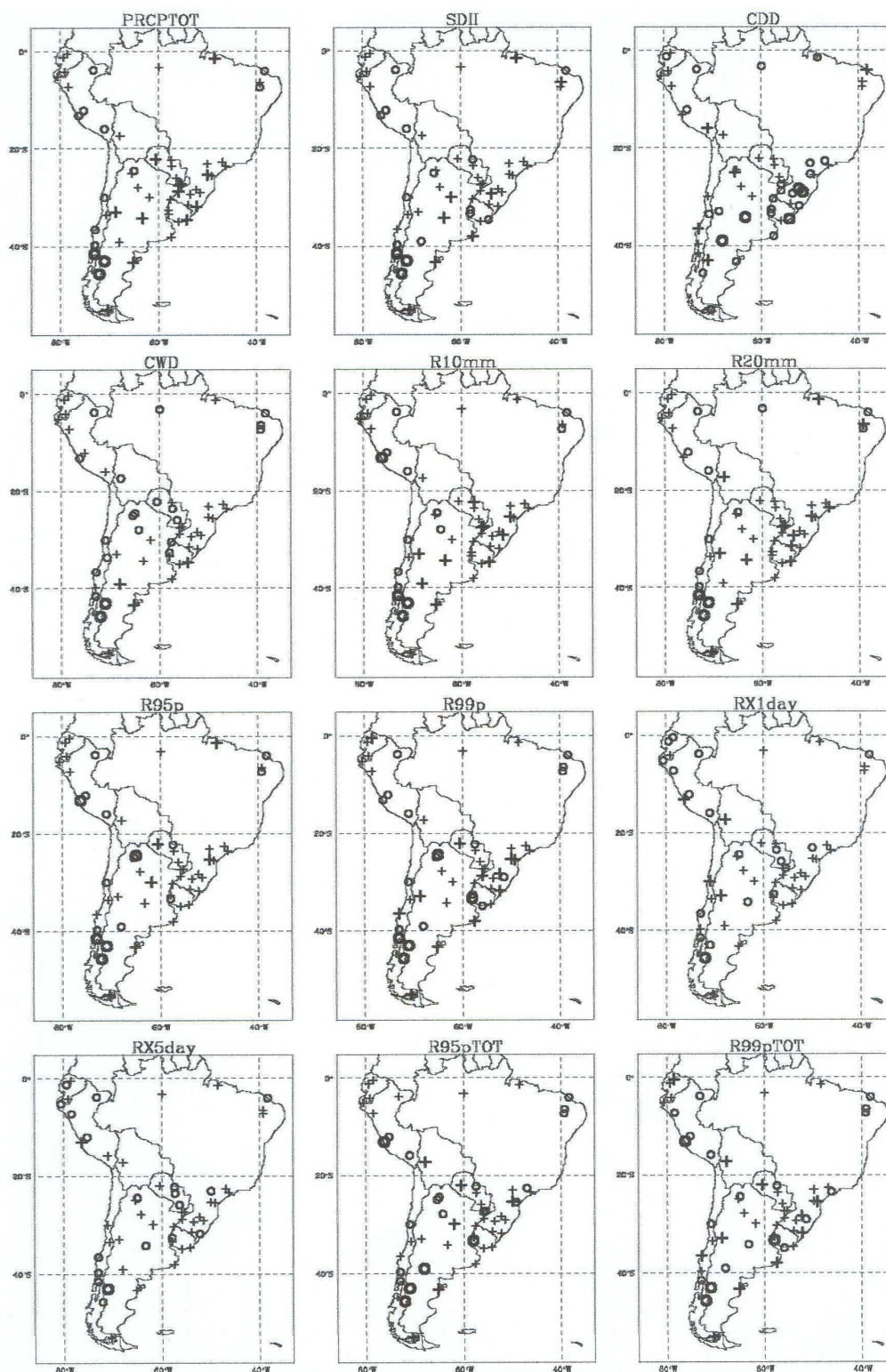


Fig 4.35 Signo de la tendencia lineal en índices de precipitación medidos según Kendall's tau. + Incremento O Decrecimiento. Negrita valores significativos $p < 0,05$. Obtenida de Haylock M. et al. (2006).

4.5 Relación entre número de días con tormentas, número de días con precipitación, cantidad total e intensidad de la precipitación

Otro aspecto a estudiar fue la relación entre la cantidad total anual de precipitación (en adelante precipitación), el número de días anual con precipitación (en adelante frecuencia) y el número de días anual con tormentas (en adelante tormentas), en aquellas estaciones que mostraron un aumento significativo de tormentas.

4.5.1 Cantidad total de precipitación y frecuencia anual de precipitaciones y tormentas

En la Fig. 4.36 se muestra la cantidad de tormentas, la frecuencia y la cantidad anual de precipitación para la estación Posadas Aero.

Se observan tendencias generales del período positivas en los tres parámetros, 7 tormentas más, 4 días más de precipitación y 108 mm más de precipitación en 10 años. Cabe destacar que hay una disminución de tormentas, días con precipitación y precipitaciones anuales a partir del 2003.

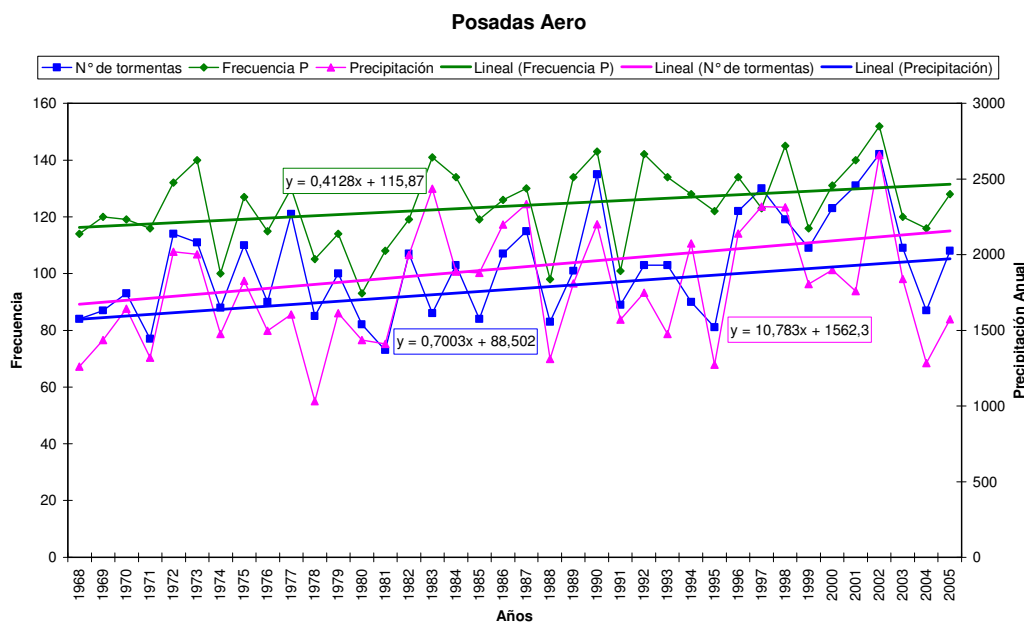


Fig 4.36 Cantidad anual de tormentas, frecuencia anual de precipitaciones y cantidad anual de precipitación en Posadas Aero.

Si se calcula el coeficiente de correlación para las tres variables utilizadas se obtiene los valores siguientes.

<i>Coeficiente de correlación</i>	<i>N° de Tormentas</i>	<i>Frecuencia P</i>	<i>Precipitación</i>
N° de Tormentas	1		
Frecuencia P	0,70	1	
Precipitación	0,69	0,70	1

Existe una correlación del 70% entre casos anuales de precipitación y de tormentas, lo que indicaría que las precipitaciones en Posadas Aero tienen una importante componente asociada a las precipitaciones convectivas.

En la Fig. 4.37 se muestra la cantidad de tormentas, la frecuencia y la cantidad anual de precipitación para la estación Monte Caseros.

Se observan tendencias positivas en los tres parámetros, casi 4 tormentas más, 2 días más de precipitación y 32 mm más de precipitación total anual en 10 años. Igual que en el caso de Posadas Aero se observa una disminución de tormentas y precipitaciones a partir del 2002.

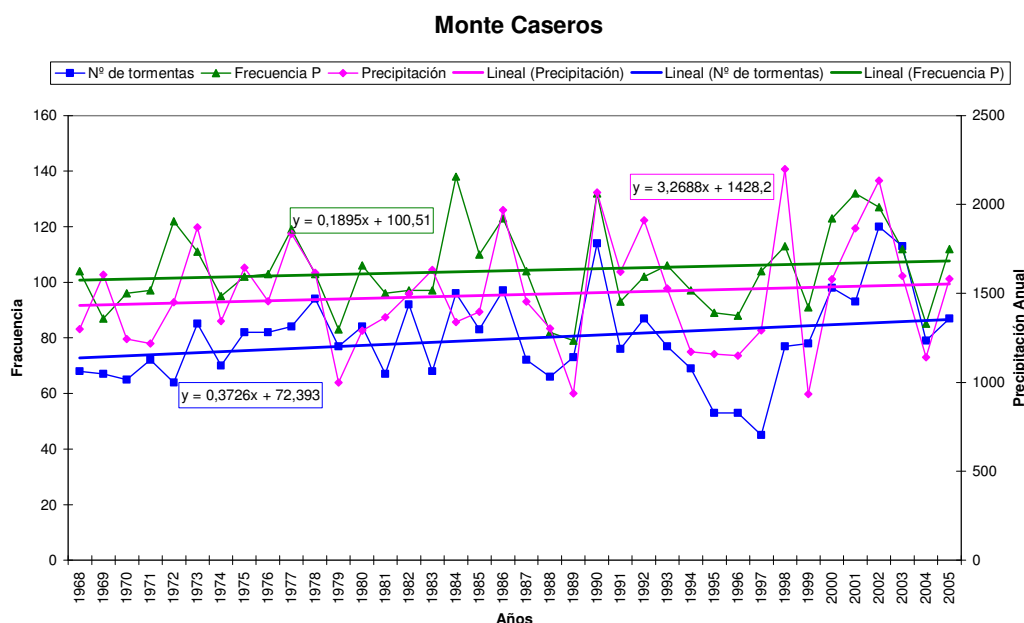


Fig 4.37 Cantidad anual de tormentas, frecuencia anual de precipitaciones y cantidad anual de precipitación en Monte Caseros.

El cálculo del coeficiente de correlación entre las tres variables arroja los siguientes valores.

<i>Coeficiente de correlación</i>	<i>Nº de tormentas</i>	<i>Precipitación</i>	<i>Frecuencia P</i>
Nº de tormentas	1		
Precipitación	0,58	1	
Frecuencia P	0,63	0,66	1

La producción de precipitación anual en Monte Caseros, en un 37% de las veces, no correlaciona con el número de tormentas. Hay baja correlación entre frecuencia de precipitación y cantidad de precipitación, lo que significa que las precipitaciones mayores no se dan siempre por aumento de la frecuencia, habría que pensar en una relación con la intensidad de las mismas.

En la Fig 4.38 se observa que la frecuencia de precipitación (18 días más con tormentas cada 10 años) y la cantidad de precipitación anual en Iguazú tienen

una tendencia positiva, igual que la tendencia del número de días de precipitación (6,4 días en 10 años).

Puede apreciarse que hay un buen ajuste entre máximos de cantidad de días con tormentas y máximos de total anual de precipitación a partir de 1982. Se observa que la relación de estos dos parámetros con la frecuencia de precipitación no fue siempre la misma. Anteriormente a 1982 la frecuencia de días con tormentas era comparativamente menor.

Se observa una disminución a partir de 2003 en los tres parámetros.

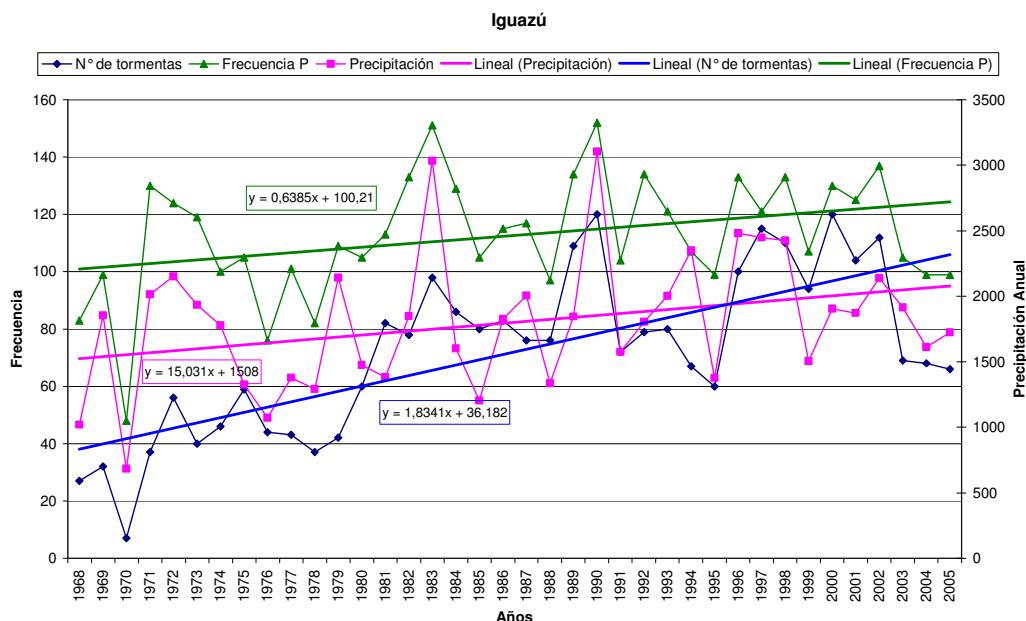


Fig 4.38 Cantidad anual de tormentas, frecuencia anual de precipitaciones y cantidad anual de precipitación en Iguazú Aero.

El cálculo de coeficientes de correlación entre las tres variables arroja los siguientes valores

<i>Coeficiente de correlación</i>	<i>N° de tormentas</i>	<i>Precipitación</i>	<i>Frecuencia P</i>
N° de tormentas	1		
Precipitación	0,58	1	
Frecuencia P	0,75	0,81	1

En Iguazú las precipitaciones se producen mayormente por tormentas, con correlación del 75%. La cantidad de precipitación está altamente correlacionada con la frecuencia de eventos de precipitación, 81%.

En la Fig. 4.39 se muestran las diferencias entre Posadas-Iguazú para los tres parámetros.

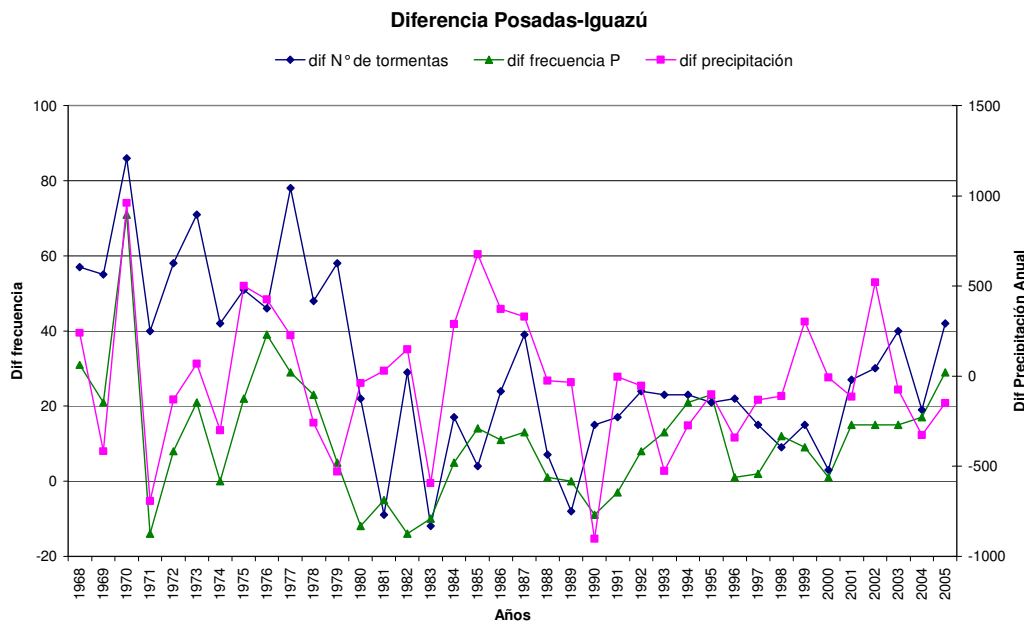


Fig. 4.39 Diferencia entre Posadas e Iguazú en precipitación, tormentas y frecuencias de precipitación

A partir de 1990, aproximadamente, la diferencia en los tres parámetros muestra una disminución, o sea que la zona de Posadas e Iguazú tiende a ser más homogénea en cuanto a lluvias y tormentas entre 1991-2000, si bien Posadas casi siempre tiene más número de tormentas y precipitaciones que Iguazú. La diferencia de cantidad anual de precipitación entre Posadas e Iguazú es mayoritariamente positiva.

En la Fig. 4.40 se muestra la cantidad de tormentas, la frecuencia y la cantidad anual de precipitación para la estación General Pico. Se observa que el número de tormentas y la precipitación tienen una tendencia positiva para todo el período que no se encuentra en la frecuencia de precipitación.

En particular durante los años 1993 a 2000 se observa un marcado decrecimiento de tormentas, con un aumento de la cantidad y frecuencia de precipitaciones entre 1996 y 1999 lo que indicaría que las tormentas son más intensas.

<i>Coficiente de correlación</i>	<i>N° de Tormentas</i>	<i>Frecuencia P</i>	<i>Precipitación</i>
N° de Tormentas	1		
Frecuencia P	0,37	1	
Precipitación	0,08	0,62	1

Es interesante analizar que la variabilidad del número anual de tormentas tiene una bajísima correlación con la variabilidad de la cantidad anual de precipitación. Las precipitaciones en General Pico no se deben principalmente a tormentas. Los valores de cantidad anual de precipitación guardan una correlación con la frecuencia de días de precipitación del 62%, lo que significaría que existen años con más eventos de poca precipitación que no aportan demasiado a la cantidad anual de precipitación.

Aunque como se ha dicho previamente, no debería haber problemas en la observación de las tormentas, queda la duda si General Pico podría observar muchas más tormentas al oeste que quizás no se produzcan sobre la estación.

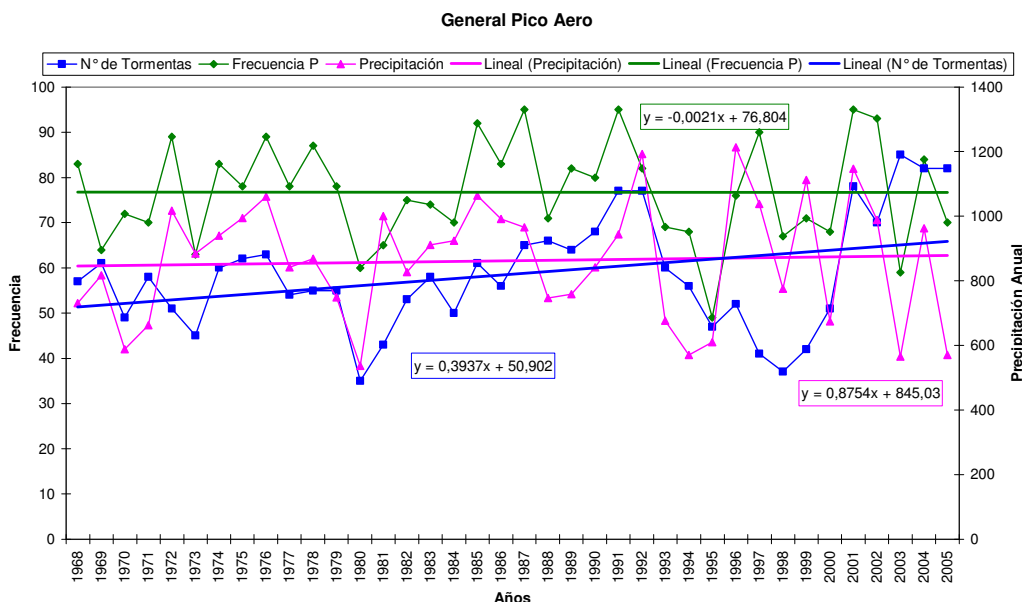


Fig. 4.40 Frecuencia anual de tormentas, frecuencia y cantidad anual de precipitación -General Pico Aero

4.5.2 Intensidad de la precipitación

En el Capítulo III se analizó la variabilidad de la cantidad de tormentas anuales en diferentes regiones del país notando que en algunos casos la tendencia era significativa.

Si bien hay un cambio en el número de tormentas es posible encontrar cambios en los máximos anuales de precipitación en una hora?

La serie de máximos de precipitación en una hora se obtuvo del análisis de fajas pluviográficas mediante un sistema de "scaneo" de las mismas y de digitalización del trazo de la pluma del pluviógrafo sobre la faja, filtrando manchas y con una serie de suposiciones básicas para la interpretación de las mismas que figuran en Anexo V. Este análisis se comparó con las precipitaciones del pluviómetro y se obtuvieron las fajas faltantes o los datos de pluviómetro faltantes.

Esta metodología se utilizó para un período general 1961-1998 para pluviógrafos a sifón. En algunas estaciones faltan años con esta información o por mal funcionamiento del pluviógrafo, o porque el pluviógrafo no era a sifón y no se contaba con una metodología de digitalización para otro tipo de pluviógrafo o porque las fajas no fueron ubicadas.

Con el objeto de trabajar con estaciones con período extenso y completo se tomaron las fajas de Aeroparque Bs. As., ya que se contaba con el material

completo del período 1961-2005 y con la serie de Buenos Aires en el período 1919-2006.

4.5.2.1 Análisis para Aeroparque

En la Fig. 4.41 se muestran las máximas intensidades anuales de precipitación en 60 minutos, en el período 1961-2005, para Aeroparque Buenos Aires. En la misma se observa un aumento significativo a partir del año 1985, con una marcada variabilidad interanual muy diferente a lo que ocurrió entre 1964 y 1983.

Esto conduciría a pensar en que la atmósfera es capaz de producir eventos aislados de una intensidad no medida en el período previo.

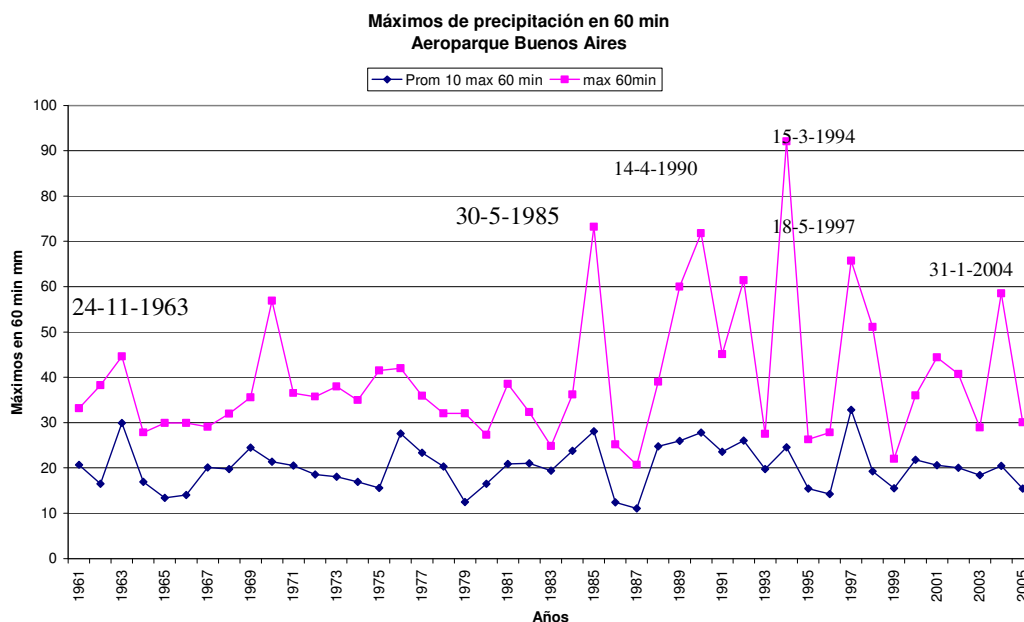


Fig. 4.41 Máximos absolutos y promedio de lo 10 máximos anuales de precipitación en 60 min - Aeroparque Buenos Aires.

La variabilidad entre máximos y mínimos se modificó presentando, a partir de 1983, mayor variabilidad.

En los años 1963, 1976, 1985, 1990, 1992, 1994 y 1997 hubo otras precipitaciones intensas que en promedio mantienen los máximos de la serie de promedios de los 10 máximos anuales.

Si se ordenan los valores de máximos de mayor a menor y se toman los 10 mayores en el período 1961-2005, se observa en la Tabla 4.4 que en 9 ocasiones esos máximos se encontraron a partir de 1985.

Orden	Años	Max 60 min
1	1994	92,1
2	1963	74
3	1990	72
4	1997	66
5	1992	61,4
6	1989	60
7	2004	58,5
8	1998	49
9	1991	45
10	2001	44,4

Tabla 4.4

En la Fig. 4.42 se muestran los valores máximos absolutos de precipitación en 24 hs y los promedios de los 10 valores máximos anuales de precipitación en 24 horas.

Se observa a partir de 1984 un aumento de la intensidad promedio con un aumento de la variabilidad.

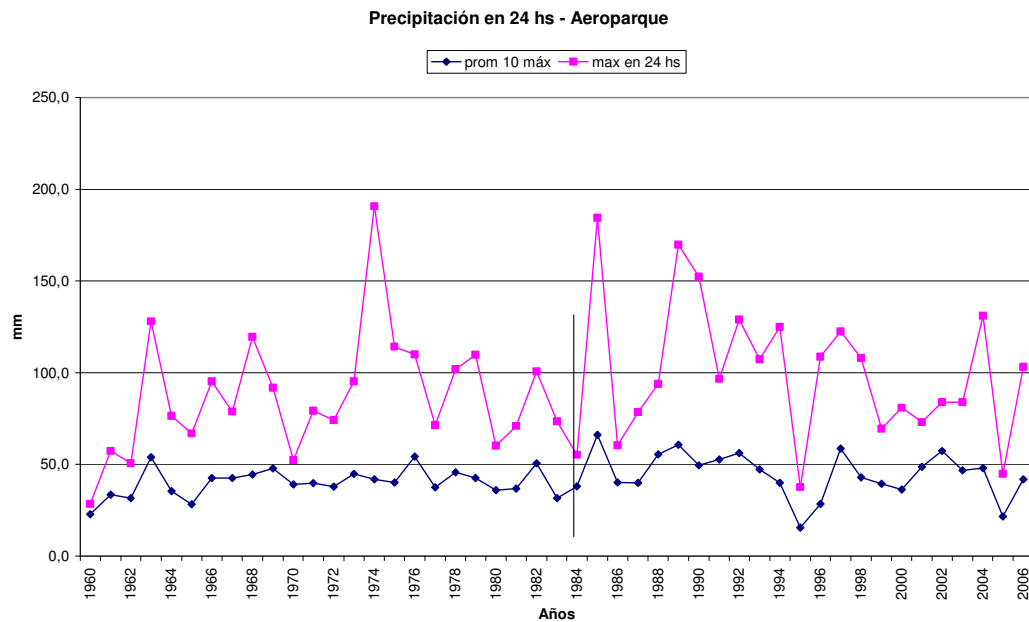


Fig. 4.42 Máximos absolutos anuales y promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 24 hs – Aeroparque

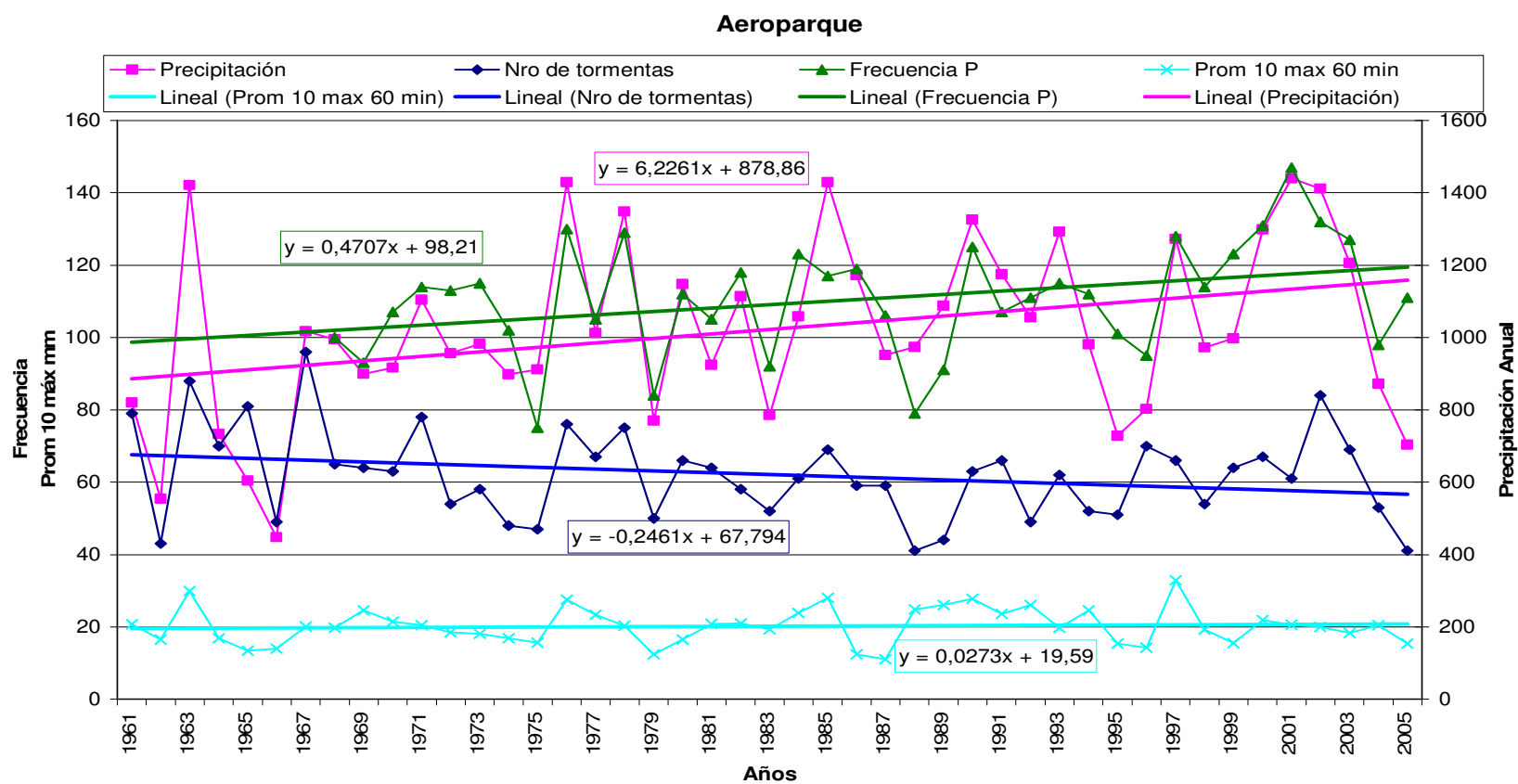


Fig. 4.43 Total anual (ordenada izquierda), frecuencia y máximos de precipitación en 1 hora, frecuencia de tormentas (ordenada derecha) Aeroparque Buenos Aires

En la Fig. 4.43 se muestra la comparación de la frecuencia anual de tormentas con el total anual de precipitación, la frecuencia anual de precipitación y el máximo anual de precipitación en 1 hora en Aeroparque.

En el período 1961-1975 los ciclos de la precipitación total anual fueron más largos que en el período posterior 1976-1998 donde los ciclos se fueron acortando de 9 a 3 años. A partir de 1999 hubo otro ciclo largo de 6 años hasta 2005.

Si se calculan los coeficientes de correlación entre las siguientes variables se obtiene una buena correlación (0,74) entre el total anual de precipitación y la frecuencia anual de días con precipitación. La correlación entre el número de tormentas y la cantidad de precipitación anual (0,62) indica que una parte de las precipitaciones en Aeroparque no son convectivas y pueden ser producidas por otros procesos.

<i>Coeficiente de correlación 1968-2005</i>	N° de tormentas	Precipitación	Frecuencia P
Nro de tormentas	1		
Precipitación	0,62	1	
Frecuencia P	0,58	0,74	1

4.5.2.2 Análisis para la Ciudad de Buenos Aires

Si se analiza el total de la precipitación de Buenos Aires, discriminada por estación del año, para el período 1919-2006, se observa que la tendencia lineal en el verano es mayor que en las otras estaciones (Fig. 4.44).

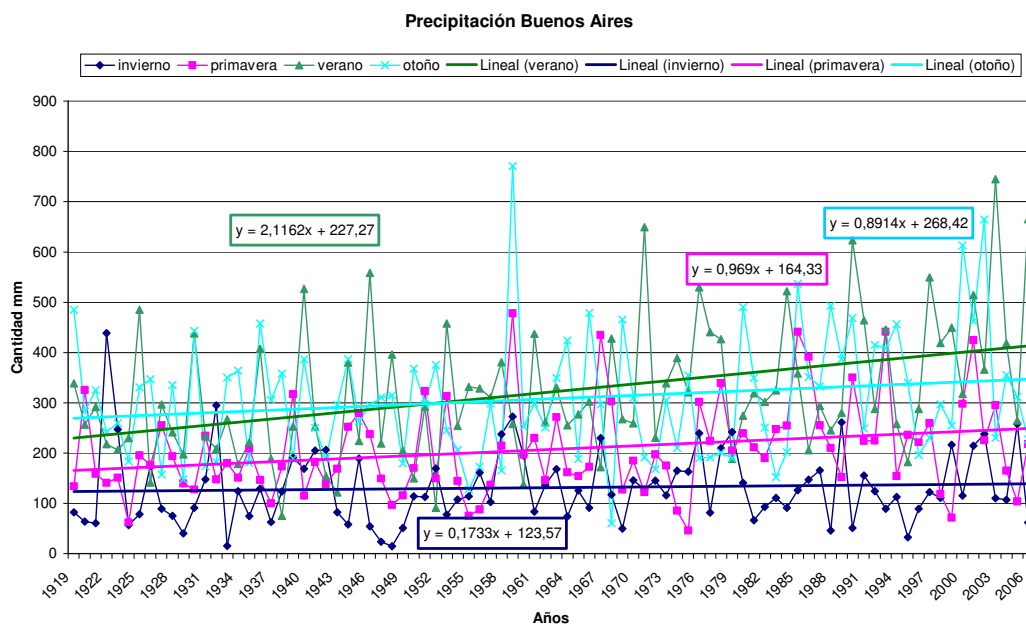


Fig. 4.44 Precipitación estacional 1919-2006 Buenos Aires

Para analizar si esta tendencia se veía reflejada en eventos de mayor intensidad de precipitación se tomó la serie de 87 años de máximos anuales de

precipitación en una hora en Buenos Aires, y se calculó si existe una tendencia temporal en la serie.

En la Fig. 4.45 se muestra una tendencia positiva de casi 2,1 mm cada 10 años en intensidades de precipitación en una hora. Por otro lado a partir de 1969 se observaron máximos de precipitación mayores de 60 mm/h, *no alcanzados en los 50 años anteriores*, como por ejemplo en los años 1969, 1984, 1987, 2000, 2001 y 2003.

Si se ordenan los valores de máximos de precipitación en 60 minutos de mayor a menor y se toman los 10 mayores en el período 1961-2005, se observa en la Tabla 4.5 que en 7 ocasiones esos máximos se encontraron a partir de 1982.

Orden	Años	Máx 60 min
1	2001	98,3
2	1969	82
3	1982	82
4	2003	79,9
5	1987	72,6
6	2000	66,1
7	1984	61,1
8	1920	56
9	1951	55,9
10	1992	54,1

Tabla 4.5

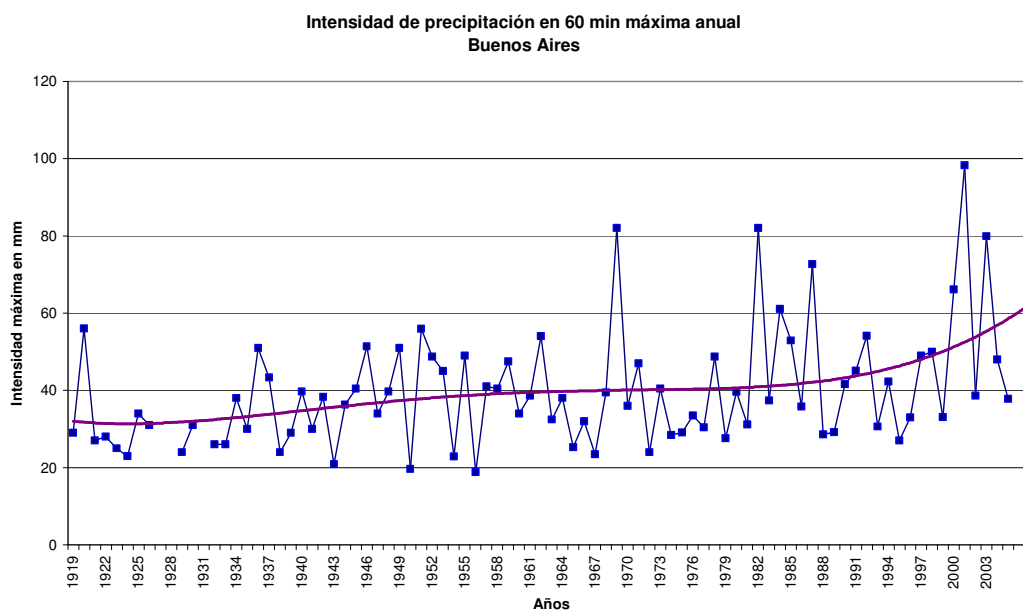


Fig. 4.45 Máxima intensidad en 60 minutos anual - Buenos Aires 1919-2005

La precipitación máxima probable para Buenos Aires, según estudio de Moyano y Medina (1974) para un período de recurrencia de 200 años calculado con datos de 1919 a 1972, de 90 mm en 60 minutos fue superada en el 2001 con **98,3 mm** el 24 de enero de ese año.

El aumento de la intensidad de precipitación en 60 minutos coincide con un aumento en la cantidad de tormentas en ese período, como se vio en la Fig. 3.9 del Capítulo III.

En la Fig. 4.46 se muestran los máximos absolutos anuales de precipitación en 24 horas y los promedios de los 10 máximos anuales. Se observa un aumento de los valores promedios a partir de 1984 y un aumento de la variabilidad.

Se puede observar que a partir de 1984 pareciera que la atmósfera es capaz de producir precipitaciones más intensas que en la primera mitad del período de análisis en Buenos Aires.

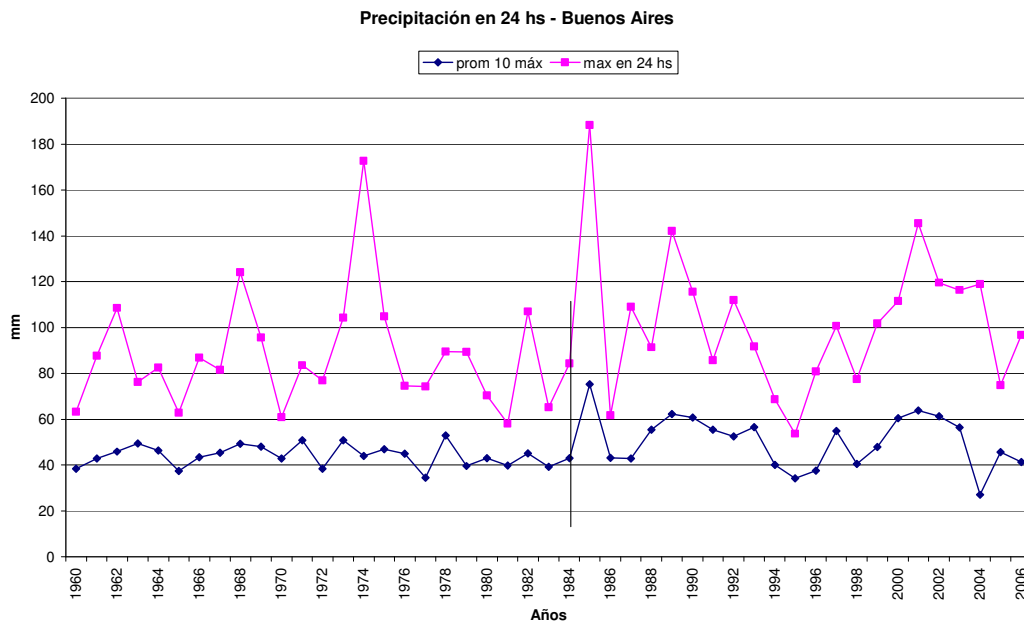


Fig. 4.46 Máximos absolutos anuales y promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 24 hs –Buenos Aires

4.5.2.2.1 Diferencias entre Buenos Aires y Aeroparque

Aunque la precipitación ocurre con una gran variedad de formas y tamaños areales, existe una organización temporal y espacial de las tormentas dependiendo del tipo de precipitación (Austin y Houze, 1972; Houze et al., 1976).

Las celdas de áreas de mesoescala pequeña (10-50 km²) pertenecen, según la subdivisión de escalas para procesos atmosféricos de Orlanski(1975), a la escala meso- γ (2-20 km), las que se generan dentro de sistemas mayores o bandas de precipitación en la escala meso- β (20-200 km), a su vez gobernadas en su ubicación y desarrollo por procesos de la escala meso- α (200-2000 km).

Las celdas de tormenta que se desarrollan el mismo día en sistemas de mesoescala, están distribuidas en el espacio en forma no aleatoria, las posiciones relativas dentro del sistema responden a un patrón espacial. Si bien

la precipitación caída en una localidad podría considerarse producida por un proceso estocástico, la relación entre dos puntos de observación tiene una distribución de probabilidad asociada (Barrera, 1988).

Con el objeto de estudiar la representación de la precipitación en la Ciudad de Buenos Aires se tomaron las estaciones Buenos Aires (en el centro de la ciudad) y Aeroparque (en la costa del Río de la Plata), ambas alejadas 7,5 km entre sí. La pregunta es ¿se puede asignar la precipitación de la ciudad de Buenos Aires a cualquiera de las dos estaciones?



Fig. 4.47 Foto satelital sector Ciudad de Buenos Aires.

Las dos estaciones seleccionadas, en general, son estaciones de observación de buen nivel de observadores y no contienen los errores descritos por Hoffmann (1970, b)).

Si se comparan las dos estaciones y se calculan las diferencias anuales de precipitación entre ambas, las de Buenos Aires son mayores en promedio en un 11% del total de precipitación media anual y las frecuencias de días con precipitación en promedio un 4,2% más.

En las diferencias de cantidad anual se observa un marcado aumento, con precipitaciones cada vez mayores en Buenos Aires con respecto a Aeroparque a partir de 1982 (Fig. 4.48 a), si bien en el inicio del período considerado ya había valores similares. Sin embargo las diferencias se hacen mayores aún a partir del 2000.

Si la comparación se hace entre Buenos Aires y Ezeiza, las diferencias muestran otro patrón, una tendencia positiva de las diferencias, en el período estudiado. Este efecto podría deberse a la isla de calor que representa la Ciudad de Buenos Aires, o al efecto del obstáculo de la ciudad al desplazamiento más lento de los sistemas y/o la mayor cantidad de

contaminantes atmosféricos en Buenos Aires comparado con Ezeiza que está más ventilado (Fig. 4.48 b)).

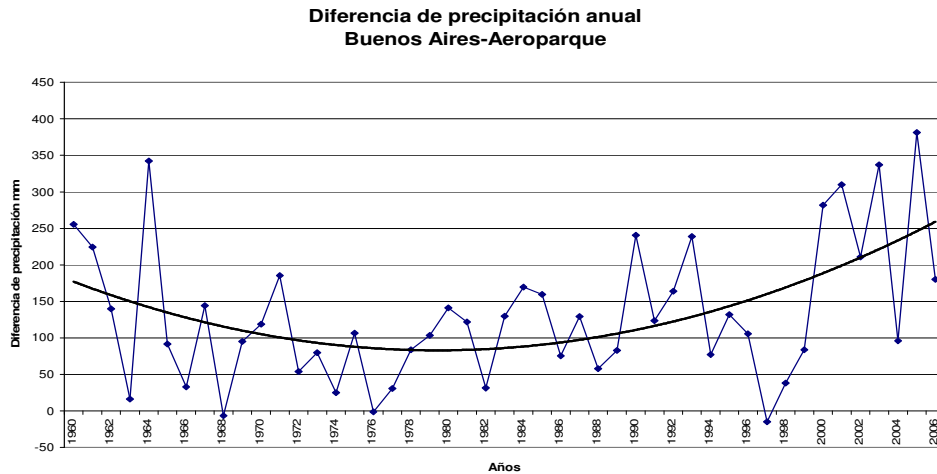


Fig.4.48 a) Diferencia de precipitación anual entre Buenos Aires y Aeroparque

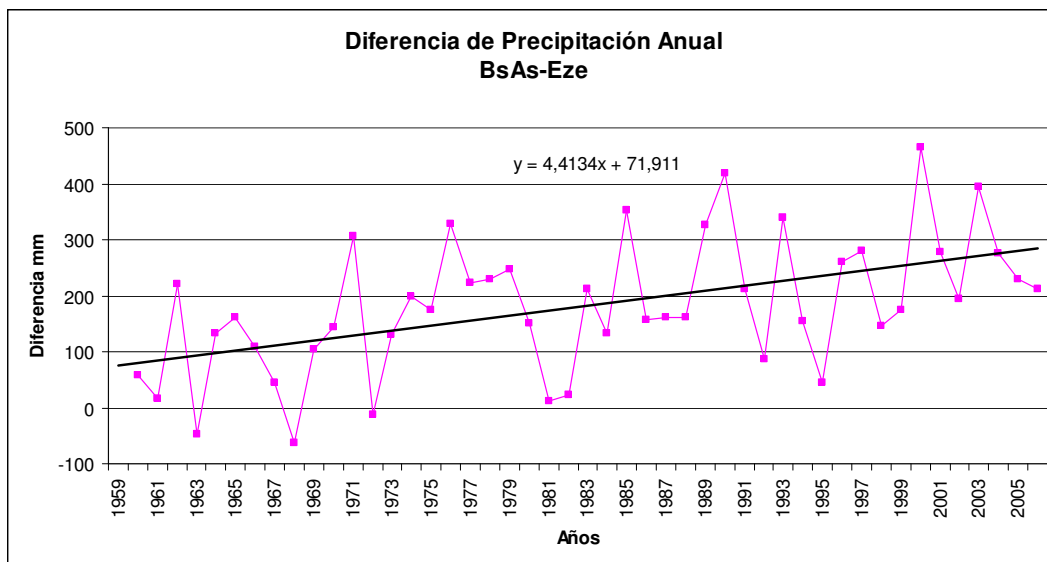


Fig.4.48 b) Diferencia de precipitación anual entre Buenos Aires y Ezeiza

Si se analizan las diferencias de las precipitaciones diarias entre Buenos Aires y Aeroparque (Fig. 4.49) y entre Buenos Aires y Ezeiza (Fig. 4.50), en el período 1960-2006, según rangos de cantidad. Se observa mayor cantidad de diferencias positivas en ambos casos.

Las diferencias están concentradas en los valores menores a 10 mm, aunque en más del 6% de los casos las diferencias entre Buenos Aires y Aeroparque son mayores de 10 mm y como es lógico las diferencias con Ezeiza están más distribuidas debido a la mayor distancia entre las estaciones, con un 11%,.

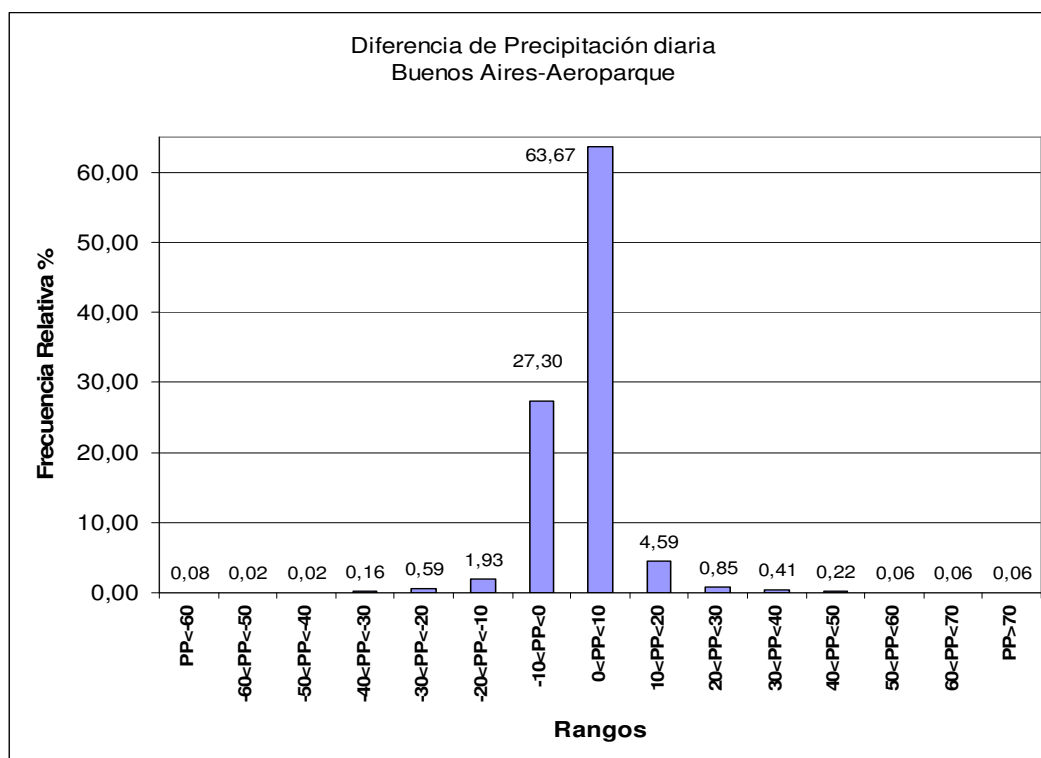


Fig. 4.49 Distribución de diferencias de precipitaciones diarias entre Buenos Aires y Aeroparque

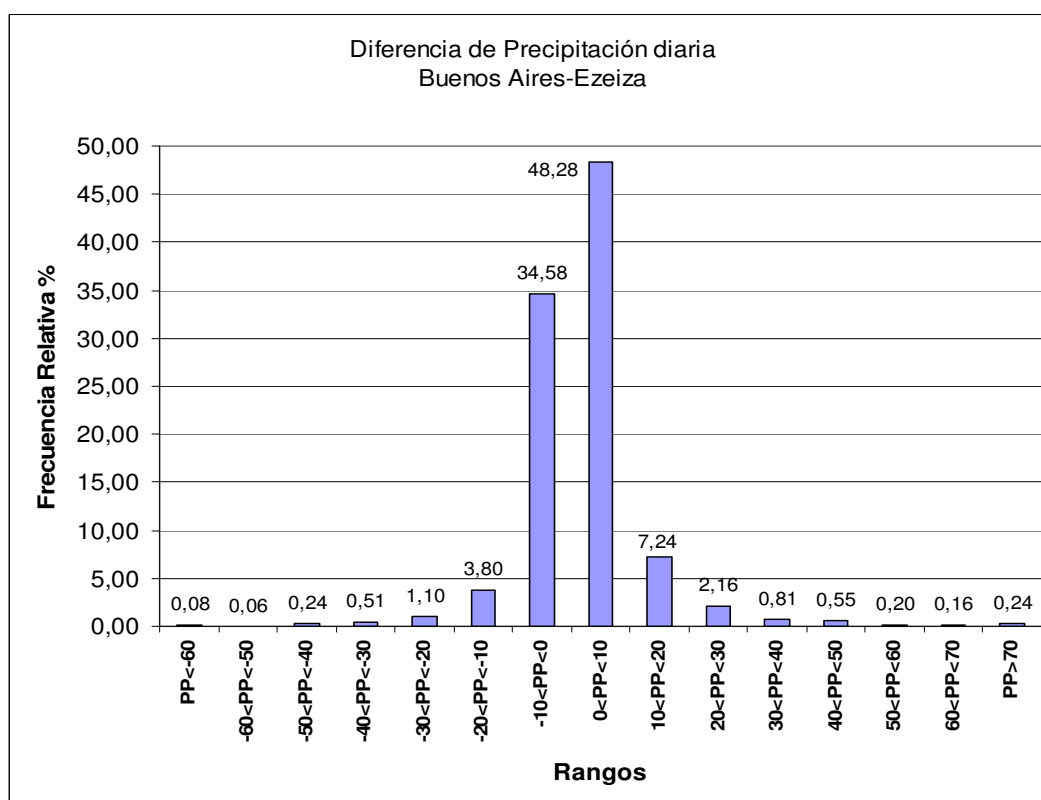


Fig. 4.50 Distribución de diferencias de precipitaciones diarias entre Buenos Aires y Ezeiza

Se analizaron las situaciones meteorológicas que provocaron las mayores diferencias entre Buenos Aires y Aeroparque, en los años 2000-2006. De este análisis surge que los días de mayores diferencias Buenos Aires-Aeroparque (>30 mm.) corresponden a eventos de tormentas, principalmente meses de verano. También se encontraron algunos casos de ciclogénesis.

4.5.2.3 Análisis para Salta

En el análisis de máximas precipitaciones en 24 horas para Salta (Fig. 4.51), período 1960-2006, surge que se observa un máximo para el año 1974. A partir de allí esos máximos relativos van disminuyendo hasta alcanzar el mínimo en el 2006.

A partir de 2003 se observa una disminución del promedio de los 10 máximos.

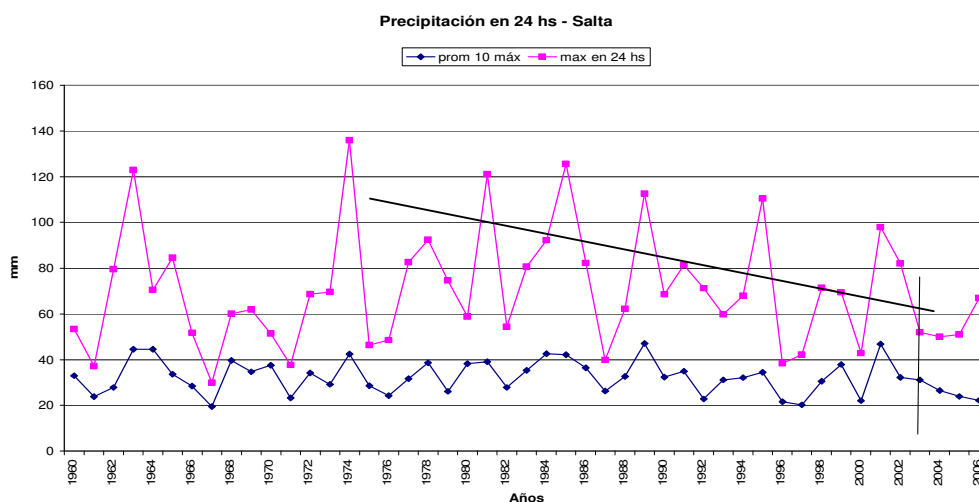


Fig. 4.51 Máximos absolutos anuales y promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 24 hs – Salta

4.5.2.4 Análisis para Resistencia

En la Fig. 4.52 se observa la precipitación máxima anual en 60 minutos para el período 1968-2005. Estos datos son muy incompletos y lamentablemente el pluviógrafo funcionaba mal especialmente para grandes precipitaciones. Sólo se muestran aquí los valores comprobados, para tener un orden de magnitud de las intensidades en 60 minutos.

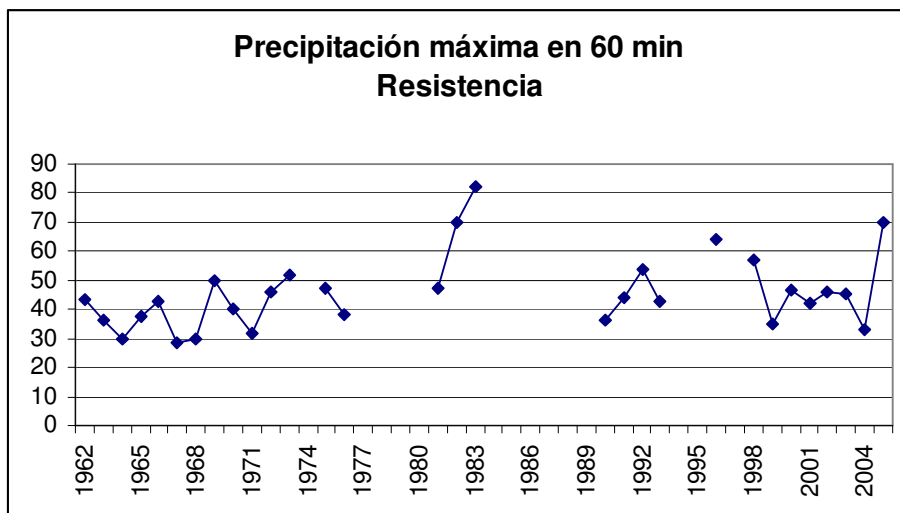


Fig. 4.52 Promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 60 minutos-Resistencia

En la Fig. 4.53 se muestra la máxima precipitación en 24 horas anual y los promedios de los 10 máximos anuales. Se observa un cambio de intensidad a partir de 1980, con valores que superan en 80% a los registrados con anterioridad.

El cambio de variabilidad comienza más tarde en Resistencia que en Salta (1974) o Buenos Aires (1965).

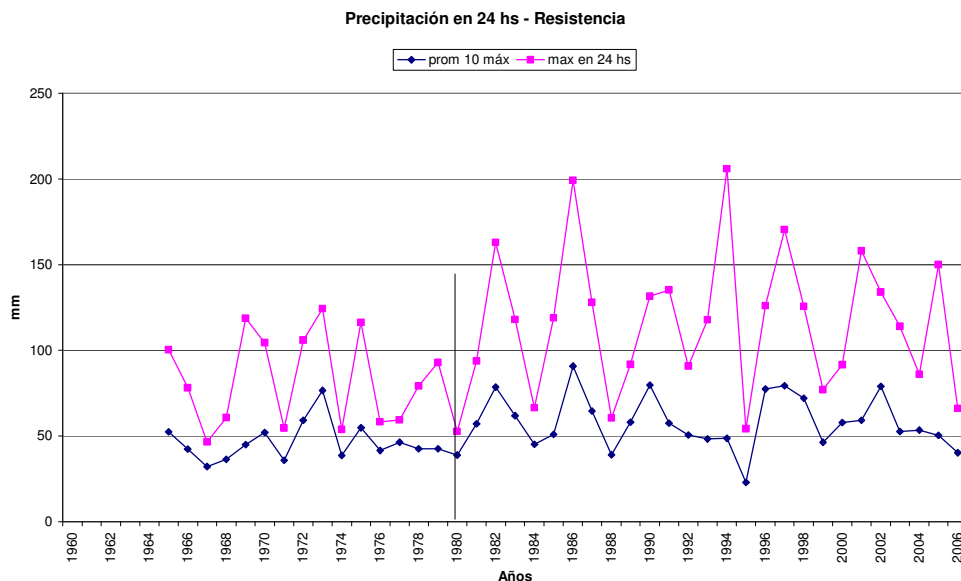


Fig. 4.53 Máximos absolutos anuales y promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 24 hs – Resistencia

4.5.2.5 Análisis para Mar del Plata

En la Fig. 4.54 se observa en Mar del Plata un cambio en la variabilidad de los máximos de precipitación en 24 horas a partir de 1969, tanto en los valores

absolutos así como en los promedios de los 10 máximos anuales, aumentando con una longitud de onda más definida a partir de 1979. Los máximos alcanzan en 1992 y 2002 valores máximos absolutos.

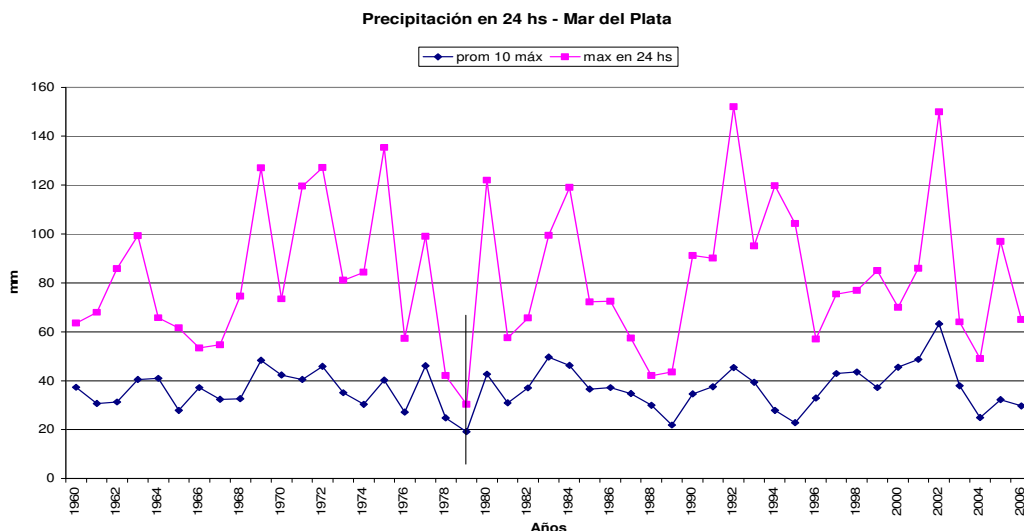


Fig. 4.54 Máximos absolutos anuales y promedio de los 10 máximos anuales de precipitación en 24 hs – Mar del PLata

4.6 Ensayo sobre horarios de la precipitación en Buenos Aires

Con el objeto de estudiar los horarios prevalentes en los eventos de precipitación se tomaron las intensidades de precipitación de fajas pluviográficas, cada 5 minutos, descriptos en el Capítulo I. Los programas de digitalización se ajustaron de acuerdo a las características de las fajas, color, tipo de trazo, etc.

Una vez obtenidas las intensidades, se resolvió analizar las frecuencias horarias de ocurrencia de la precipitación cada 5 minutos, discriminado por umbral de precipitación y por época del año.

Para este análisis se contó con las fajas digitalizadas en los períodos 1961-1982 y 1988-1998. El período intermedio tenía fajas de otro tipo.

Se filtraron las fajas que no pudieron analizarse por problemas descriptos en Anexo V.

Comparando el total de la precipitación de la digitalización de la faja con la precipitación proveniente del pluviómetro da un coeficiente de correlación de 0.94, lo que nos permitió corroborar el método de análisis de la digitalización.

En la Fig. 4.55 se muestra el caso de precipitaciones de la estación Buenos Aires para el período 1961-1998, pluviómetro vs pluviógrafo.

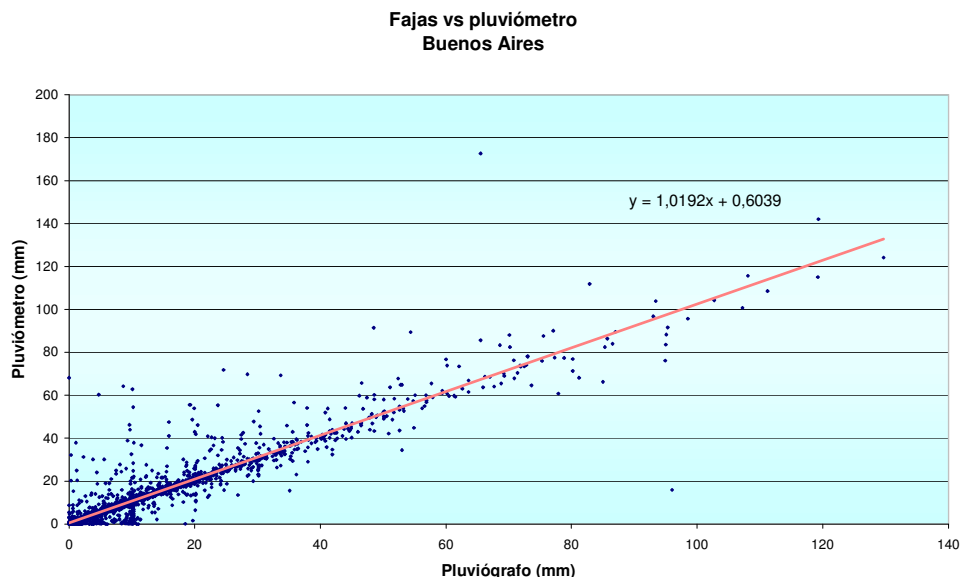


Fig. 4.55 Precipitaciones provenientes del pluviómetro vs precipitaciones del pluviógrafo a sifón para Buenos Aires, período 1961-1998.

Las grandes diferencias donde el pluviómetro es mayor se deben a que en precipitaciones grandes el pluviógrafo se puede atrancar y no bajar la pluma. También se da el caso que el sifón no cierra y continúa descargando mientras precipita.

Las precipitaciones mayores en pluviógrafo se deben a fajas defectuosas por mal funcionamiento del pluviógrafo o por manchas en la faja con dificultad para filtrar.

Existe una nube de puntos cercana al origen de la recta en Fig. 4.55 debido a valores en el pluviógrafo sin valores en el pluviómetro o con valores deficientes. Esto es debido a dos razones principalmente: a) el observador no consigna valores de precipitaciones pequeñas en el pluviómetro o fajas que han estado colocadas en el pluviógrafo varios días y ellas tienen un trazo en la parte inferior superpuesto y corrido que al analizar confunde con un trazo del pluviógrafo.

Esto se puede ver en la diferencia de la moda en la Tabla 4.6.

Analizando las dos series se obtienen los siguientes parámetros estadísticos:

	Fajas	Pluviómetro
Media	11,9	12,7
Error típico	0,32	0,35
Mediana	6,1	5,8
Moda	0,6	0,2
Desviación estándar	16,0	17,4
Varianza	256,0	303,9
Curtosis	9,69	10,19
Tabla 4.6		

La varianza es mayor en el pluviómetro puesto que las precipitaciones extraordinarias no siempre se reflejan en la faja por mal funcionamiento del instrumental.

El análisis se realizó sobre una base de 2484 casos con coincidencia en fechas provenientes de las dos fuentes.

Las precipitaciones medidas en el pluviómetro son en promedio levemente mayores que en el pluviógrafo, posiblemente por un problema de resistencia del instrumental a ponerse en funcionamiento con precipitaciones pequeñas o por pérdida de agua al cerrarse el sifón.

El porcentaje de días en que hay fajas presentes sin dato del pluviómetro es de 4.3 % (el observador no informó el dato), con casos de precipitaciones mayores a 5 mm.

4.6.1 Análisis de la frecuencia horaria de precipitación cada 5 minutos en Buenos Aires

Se realizaron las digitalizaciones de las fajas diarias que se colocan a las 12 UTC y se retiran a las 12 UTC del día siguiente.

Con los análisis de la intensidad de la precipitación cada 5 minutos se estudiaron las frecuencias relativas de ocurrencia de precipitación cada 5 minutos en la banda horaria de la faja, discriminada por umbral de precipitación total diaria.

En la Fig 4.56 se muestran las frecuencias relativas, considerando un umbral de 10 mm en la precipitación total diaria, para cada rango horario de precipitación. Se observa mayor frecuencia de precipitación en las horas de 3 a 9 UTC.

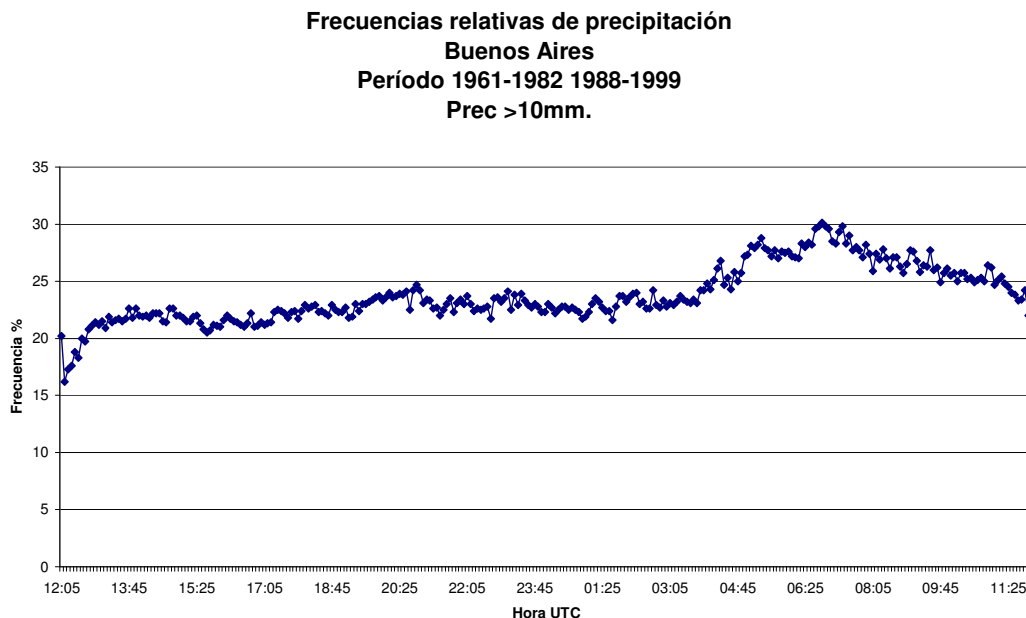


Fig. 4.56 Frecuencia absoluta de precipitación en función de la hora UTC para umbral de RR diaria 10mm - 2657 casos (a)

A medida que se aumenta el umbral de precipitación la diferencia de frecuencias en los diferentes rangos horarios se hace más marcado y las

mayores frecuencias se producen hacia la madrugada en muchos casos asociadas con el pasaje de líneas de inestabilidad (Lichtenstein, E. y M. L. A. Schwarzkopf, 1970), Fig. 4.57 y Fig. 4.58, con la máxima frecuencia entre las 2 y 8 UTC.

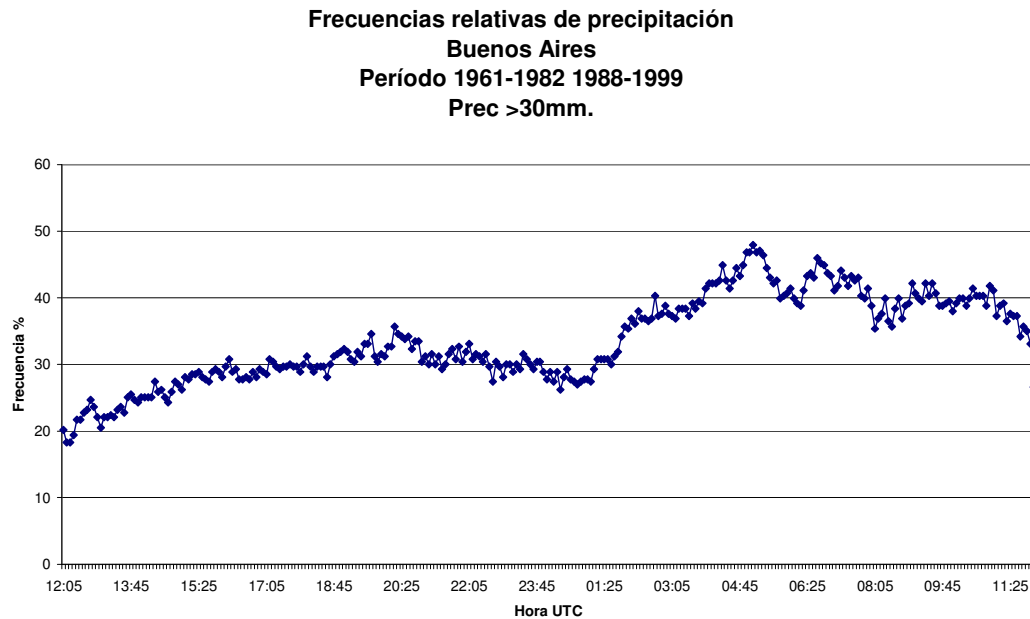


Fig. 4.57 Frecuencia absoluta de precipitación en función de la hora UTC para umbral de RR diaria > 30 mm – 1119 casos (b)

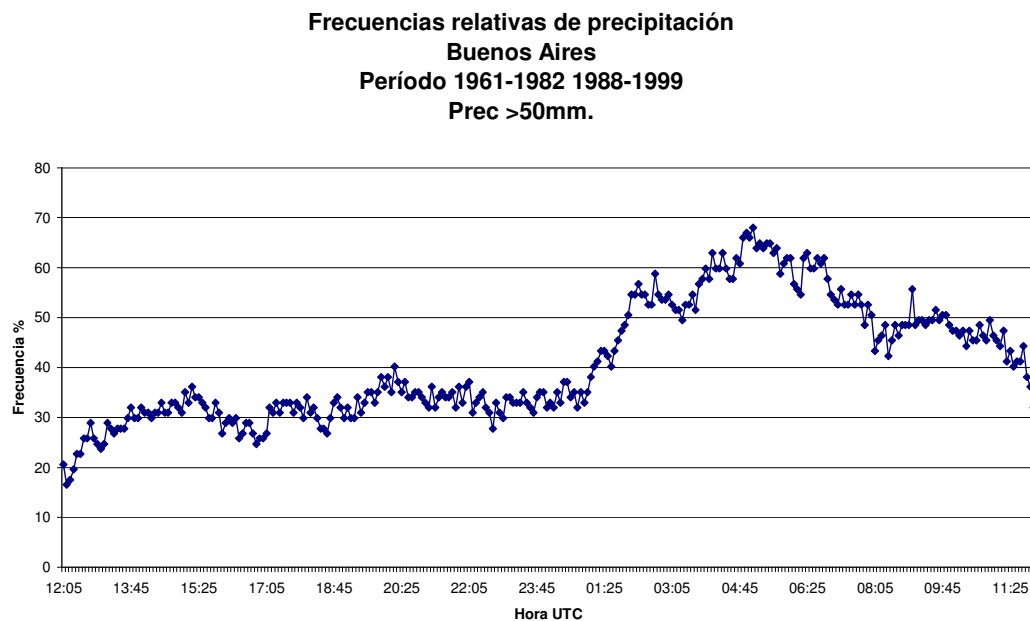


Fig. 4.58 Frecuencia absoluta de precipitación en función de la hora UTC para umbral de RRp diaria > 50 mm – 1011 casos (c)

Por otro lado se realizó el análisis discriminando por época del año (Fig 4.59). En verde (invierno), turquesa (primavera), fucsia (otoño), azul (verano). Los casos considerados figuran en Tabla 4.7.

Umbral	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Total
>0mm	721	595	610	801	2727
>10mm	698	582	594	783	2657
>30mm	331	234	220	334	1119
>50mm	297	215	196	303	1011
Tabla 4.7 Cantidad de datos por rango de precipitación y época del año					

Se observa que en invierno existen dos máximos que se hacen más marcados cuanto mayor es el umbral de precipitación. Las horas de mayor frecuencia son entre las 17 y 23 UTC. Sin embargo para el resto del año las horas de mayor frecuencia son entre las 3 y 10 UTC.

Es interesante notar que cuando llueve más de 50 mm en un día, durante el invierno, el 100% de los días (196 casos) llueve entre las 21:30 y 22:45 hora UTC, y en un 80% de los casos entre las 2:00 y 4:45 hora UTC.

Velasco y Fritsch (1987), encontraron que el hábito nocturnal es uno de las características de los MCC's en la zona subtropical, en los dos hemisferios. Las primeras células convectivas que preceden a la definición del principio del MCC pueden ocurrir a comienzo de la tarde como de la noche, en una curva bimodal. El final del MCC ocurre en su gran mayoría alrededor del mediodía.

Paegle (1987) encontró que un jet nocturno de niveles bajos es un importante mecanismo para iniciar la convección a sotavento de los Andes. La componente del norte es más intensa en la noche y madrugada. La formación con preferencia nocturna se debe a dos factores, mezcla turbulenta y circulación valle-montaña.

Salio y Nicolini (2005) encontraron que la convección asociada a condiciones de corriente en chorro en capas bajas tiene un máximo nocturno en primavera y en verano un máximo nocturno y otro vespertino.

Vila (2005) estudió que los topes nubosos fríos ($T < 210^{\circ}\text{K}$) se desarrollan al noreste de Argentina y sur del Brasil, a partir de mediodía se expanden mucho y se empiezan a enfriar hasta llegar a convertirse en sistemas convectivos ($T < 235^{\circ}\text{K}$) y que su vida media es de 5.3 hs.

Para ver si los horarios de máximos de frecuencia relativa de precipitación por rangos de tiempo variaban significativamente entre estaciones se tomaron realizaron los mismos cálculos en Córdoba, Aeroparque, Ezeiza, General Pico e Iguazú para precipitaciones diarias mayores a 50 mm (Fig. 4.60). Los períodos considerados no son los mismos en todas las estaciones. Estos se encuentran entre los años 1961 y 1998, con 23 a 38 años con información.

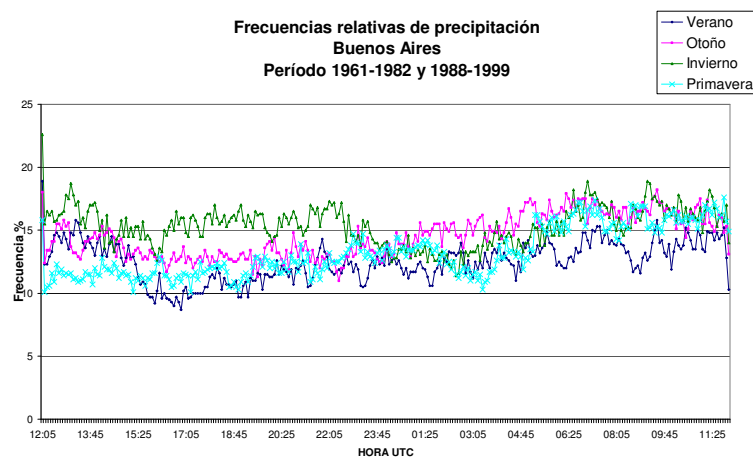
En la misma se observa que Córdoba difiere de las otras estaciones, con máxima frecuencia de precipitaciones principalmente en los horarios de noche

(23 UTC a 2 UTC) y de madrugada (5 UTC a 9 UTC) y baja probabilidad de ocurrencia fuera de estos rangos horarios.

Ezeiza muestra mayor variabilidad en la preferencia de los rangos horarios frente a Córdoba y General Pico.

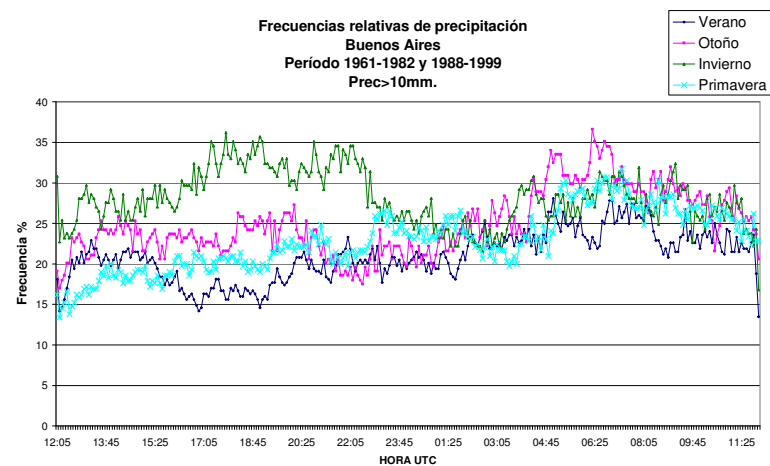
Prec >0mm.

(a)



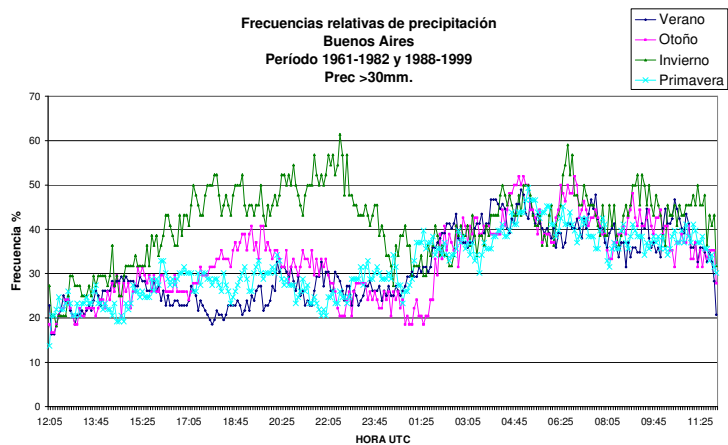
>10mm

(b)



>30mm

(c)



>50 mm

(d)

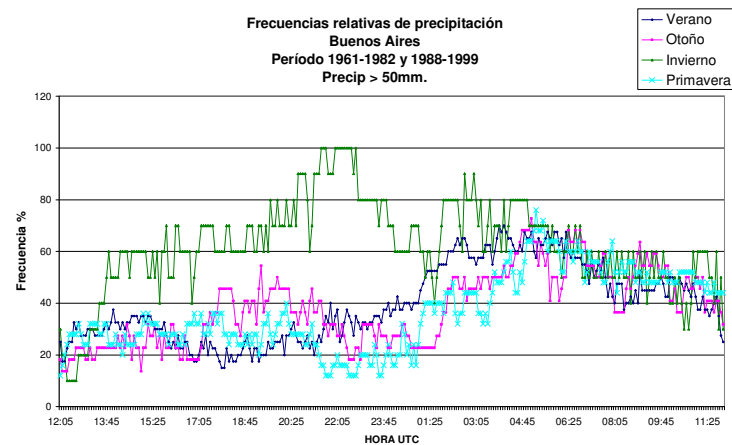


Fig 4.59. Frecuencia relativa % de precipitación en función de la hora UTC discriminado por estación del año, para umbral de 0mm (a), 10 mm (b), 30 mm (c) y 50 mm (d)

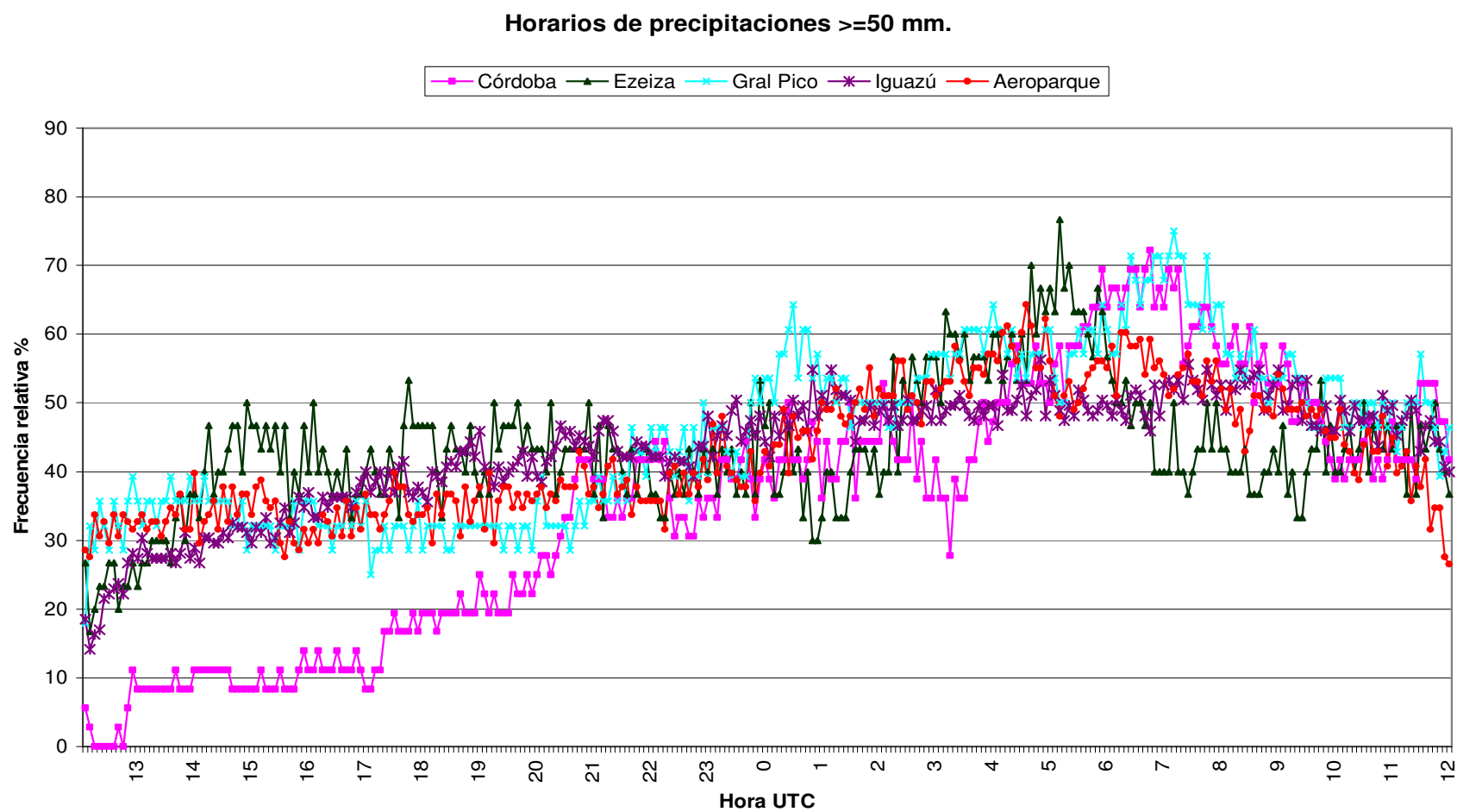


Fig. 4.60 Horarios de precipitaciones mayores o iguales a 50 mm

4.7 Conclusiones

Existen diversos factores que determinan la variabilidad de la precipitación y la mayoría de ellos fueron mencionados en el desarrollo del presente capítulo. Sin embargo se pueden agregar algunas conclusiones que son aportadas por esta investigación:

1) Las fluctuaciones de baja frecuencia en la circulación regional influyeron en las tendencias anuales positivas de la precipitación al este de los Andes, en el período 1959 -2002.

En general los controles estadísticos en el área al este de 65° W y norte de 37°S de nuestro país muestran cambios en los índices de la precipitación que son consistentes con clima más húmedo.

Al oeste de la zona de análisis se muestra un aumento significativo de la secuencia de días secos aunque también un aumento de secuencia de días húmedos, aunque no significativo.

Las precipitaciones diarias mayores o iguales a 10 mm muestran un crecimiento en el período 1959-2002. Este crecimiento se hace más marcado desde 1987, debido a la contribución al total de precipitación de los días muy lluviosos. Se observa que hubo incremento significativo del número de días en el año con grandes precipitaciones, en el norte de la Mesopotamia, sur de Córdoba y noroeste de Buenos Aires.

2) La correlación del 70% entre casos anuales de precipitación y de tormentas en Posadas, indica que las precipitaciones son principalmente convectivas, en esa zona.

Se observan tendencias positivas en los tres parámetros, en Posadas, Monte Caseros e Iguazú. Los mayores totales de precipitación no se dan siempre por aumento de la frecuencia sino por mayor intensidad de las mismas.

A partir de 1990, aproximadamente, la zona de Posadas e Iguazú tiende a ser más homogénea en cuanto a lluvias y tormentas.

3) En General Pico se observa que el número de tormentas y la precipitación tienen una tendencia positiva para todo el período que no se encuentra en la frecuencia de precipitación. La variabilidad del número anual de tormentas tiene una bajísima correlación con la variabilidad de la cantidad anual de precipitación.

En particular durante los años 1993 a 2000 se observa un marcado decrecimiento de tormentas, con un aumento de la cantidad y frecuencia de precipitaciones entre 1996 y 1999.

4) Las diferencias de precipitación entre Buenos Aires y Aeroparque se encuentran en un 90% en el intervalo (-10mm; 10mm). Sin embargo existe un incremento de las diferencias anuales debido a precipitaciones puntuales diarias en su mayoría casos de tormentas o ciclogénesis.

5) En los años 2002 y 2003 se observa en todas las estaciones estudiadas una disminución de la cantidad de precipitación anual, en el número de días con precipitación y en el número de tormentas.

6) En Aeroparque se observa un aumento significativo en la intensidad de precipitación en 60 minutos a partir del año 1985, con una marcada variabilidad interanual muy diferente a lo que ocurrió entre 1964 y 1983.

En Buenos Aires se observa una tendencia positiva en el total de precipitación anual. El verano es el que aporta más a esa tendencia. A partir de 1969 se observaron máximos de precipitación mayores de 60 mm/h, **no** alcanzados en los 50 años anteriores, con un máximo absoluto en 2001. Esto conduciría a pensar en que la atmósfera es capaz de producir eventos aislados de una intensidad no observada en el período previo. El aumento de la intensidad de precipitación en 60 minutos coincide con un aumento en la cantidad de tormentas en ese período.

7) Las precipitaciones anuales en Buenos Aires, respecto de las de Aeroparque, son mayores en promedio en un 11% del total de precipitación media anual y las frecuencias de días con precipitación en promedio un 4,2% más. Las diferencias aumentan a partir de 1982, si bien en el inicio del período considerado ya había valores similares, las diferencias se hacen mayores aún a partir del 2000. Este efecto podría deberse a la isla de calor que representa la Ciudad de Buenos Aires, o al efecto del obstáculo de la ciudad al desplazamiento más lento de los sistemas y/o la mayor cantidad de contaminantes atmosféricos en Buenos Aires comparado con Aeroparque que está más ventilado.

8) Para precipitaciones diarias mayores a 10 mm, en Buenos Aires, se observa mayor ocurrencia de precipitación en las horas de 2 a 8 UTC. A medida que se aumenta el umbral la diferencia de frecuencias en las diferentes horas se hace más marcada y las mayores frecuencias se producen hacia la madrugada.

Se observa que en invierno existen dos máximos. Los períodos de mayor frecuencia son entre las 17 y 23 UTC. Sin embargo para el resto del año las horas de mayor frecuencia son entre las 3 y 10 UTC.

Cuando llovió más de 50 mm en un día, durante el invierno (196 casos), el 100% de los días llovió entre las 21:30 y 22:45 hora UTC, y en un 80% de los casos entre las 2:00 y 4:45 hora UTC.

Los horarios de precipitaciones diarias muy abundantes (≥ 50 mm) en las estaciones Aeroparque, Ezeiza, General Pico e Iguazú presentan un gráfico similar. Córdoba difiere de estas estaciones en horarios diurnos., con precipitaciones principalmente en los horarios de noche (23 UTC a 2 UTC) y de madrugada (5 UTC a 9 UTC) y baja probabilidad fuera de estos rangos horarios.

Conclusión general

Los análisis revelan que la frecuencia de precipitaciones intensas se ha incrementado, consistente con mayor proporción de tormentas, desde 1970 en el centro y noreste de nuestro país. Se observan cambios en la variabilidad de la intensidad de las precipitaciones coincidentemente con el aumento de la

variabilidad de las tormentas a partir de la década del ´70. El aumento de la intensidad de precipitación se hace más marcado a partir de 1989.

A partir de 1970 hubo un incremento de los alisios y las trazas de las tormentas extratropicales se movieron hacia los Polos (Agosta et al., 1999; Barros et al, 2000; Agosta et al., 2001), con el consecuente cambio en las estructuras del viento, de la precipitación y de la temperatura (Camilioni, 1995), continuando con el extenso modelo de tendencias del último medio siglo.

Capítulo V - Verificación de la precipitación con un modelo regional

5.1 Introducción

El objetivo del presente capítulo es estudiar la verificación de la precipitación en un modelo numérico de malla fina para puntos geográficos con diferentes orografías. El modelo utilizado en estas verificaciones fue el modelo ETA SMN 2002, de uso operativo para el pronóstico en el SMN.

Orlanski, I., J. Katzfey, C. Menéndez y M. Marino (1991), utilizando el modelo LAHM/CIMA (Limited Area Hibu Model), precursor del modelo utilizado en este capítulo, describieron la sensibilidad de una tormenta a los procesos de la superficie, en especial sobre el océano abierto.

Black, T. (1994) estudió la habilidad del modelo ETA para capturar la circulación de pequeña escala bajo diferentes circunstancias: la propagación de un frente frío intenso donde el forzante era primariamente interno y no orográfico y un evento de lluvia donde el forzante proviene de la interacción orográfica con el flujo a escala sinóptica.

Seluchi y Chou (2000) utilizaron el modelo ETA para efectuar experimentos de sensibilidad del esquema convectivo de Betts-Miller para generar precipitación convectiva. El conjunto optimizado de parámetros logró mejorar la calidad de los pronósticos de precipitación.

Saulo, C et al.(2001), estudiaron el error de evaluación de los pronósticos diarios de los modelos regionales LAHM (Limited Area Hibu Model) y NCEP(National Center for Environmental Prediction) durante dos meses contra análisis en puntos de malla y dos estaciones de radiosondeos de Brasil y Chile. En este estudio encontraron que el bias (pronóstico / observación) y rmse (root mean square error) del modelo MRF (Médium Range Forecast) es menor que para los modelos regionales, aunque este modelo presenta errores mayores en otros estudios realizados en todo el Hemisferio Sur, por lo que sugieren la necesidad de realizar verificaciones regionales especialmente en regiones con zonas con escasez de datos como Sudamérica.

Saulo A. y L. Ferreira (2003) evaluaron los pronósticos de la cantidad de precipitación sobre Sudamérica con el modelo LAHM/CIMA y con el modelo MRF/NCEP. Encontraron que el MRF verificó mejor para precipitaciones débiles o moderadas y que para precipitaciones mayores el comportamiento del modelo LAHM fue mejor. La verificación empeora cuando crece la precipitación.

Suaya, M. y H. Ciappesoni (2005), encontraron que el modelo ETA SMN en el 2004 tuvo una mejor actuación que en el año 2003. Sugieren que la habilidad del modelo mejora si aumenta la resolución del campo inicial tanto horizontal como verticalmente, mientras que la influencia de las condiciones de borde no fueron concluyentes en ese estudio. El mayor impacto en la mejora del modelo provino de contar con un análisis para la inicialización del modelo con una resolución cercana al modelo regional

Ciappesoni H. y R. Valdivieso (2005) verificaron los aciertos o no de ocurrencia de la precipitación según el modelo ETA SMN 2002, para los años 2003 y 2004. Encuentran que el modelo mostró la bondad para reproducir los patrones de la circulación atmosférica. El año 2004 verificó mejor que el 2003. Sugieren que esa mejora se debe a la mayor resolución de las condiciones iniciales.

5.2 Modelo utilizado

El modelo utilizado fue el modelo ETA SMN 2002 versión 0.2 o MPI, para múltiple procesadores, disponible en el SMN.

El desarrollo del modelo ETA comenzó en 1972 con Fedor Mesinger y Zaviša Janjic, en la Universidad de Belgrado y en el Instituto Federal de Hidrometeorología, Yugoslavia. Durante los años ochenta, los principales desarrollos y mejoras fueron realizados en el National Center for Environmental Prediction (NCEP) en Washington, Estados Unidos, donde el modelo es usado para pronóstico del tiempo operacional desde 1993.

El modelo ETA 2002 fue obtenido en el International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italia durante abril de 2002, y adaptado para el extremo sur de Sudamérica por el Grupo de Modelado Numérico del Departamento de Procesos Automatizados del Servicio Meteorológico Nacional. Esta versión se corre en forma operativa desde enero del 2003, como versión ETA SMN.

El modelo utiliza las ecuaciones primitivas en su aproximación hidrostática, con integración en el tiempo del tipo explícita. También se cuenta con la versión no hidrostática.

El sistema de coordenadas es esféricas rotadas en la horizontal y la coordenada vertical ETA es una generalización de la coordenada vertical sigma, ideal para regiones de topografía abrupta. La topografía es de tipo escalonada cuyos topes coinciden exactamente con algún nivel vertical del modelo, lo que remueve errores en el cálculo de la fuerza de presión y la advección sobre la cordillera.

Utiliza la retícula horizontal de Arakawa (semi-staggered E grid), en la cual los puntos con información del campo de masa son intercalados con aquellos que contienen información del campo de viento, minimizando de esta manera el error producido por el forzante topográfico. En la vertical utiliza el esquema de Lorenz.

Los procesos físicos intervinientes son la conservación de energía, de entropía y de momento con mezcla de submallas.

Posee la opción de usar el esquema convectivo de Betts-Miller-Janjic o la parametrización de Kain-Fritsch. En estas corridas se usó el esquema de Betts-Miller-Janjic.

Esta versión también utiliza un análisis de temperatura de superficie del mar de mayor resolución que las anteriores.

También realiza de manera más eficiente la interpolación de la temperatura y humedad del suelo dentro del modelo. En esta versión se tiene en cuenta la máscara de tierra/mar de los datos de entrada. Esta modificación tiene mayor impacto a lo largo de las costas.

Tiene la capacidad de correr “anidados”, en donde un modelo ETA de mayor resolución obtiene sus condiciones iniciales y de borde de una corrida anterior del modelo de más baja resolución.

El modelo ETA SMN abarca el área definida entre 14° y 65° de latitud Sur y entre 30° y 90° de longitud Oeste.

Utiliza como campo inicial y de borde los análisis y pronósticos cada 12 horas, producidos por el modelo global GFS (NCEP). Se actualizan diariamente la temperatura de superficie de agua de mar, la cobertura de hielo y nieve y profundidad de la misma.

El modelo pronostica a 120 horas a intervalos de 3 horas para 38 niveles de presión en la vertical con una resolución horizontal de 0.25°.

Las variables pronosticadas por el modelo son: temperatura, humedad específica, componente zonal y meridional del viento, energía cinética turbulenta, presión en superficie, relación de mezcla de agua de nube y relación de mezcla de hielo de nube. A partir de ellas se puede calcular variables como la precipitación convectiva o estratiforme, tipos de precipitación (hielo, nieve, etc.), temperatura máxima y mínima, nubosidad baja, media y alta, radiación, índices de inestabilidad, probabilidad de tormentas severas, nieblas, etc.

El período con corridas disponibles de este modelo fue para los años 2003 a 2006, dos veces por día, para los ciclos de 0 UTC y 12 UTC.

En particular las verificaciones de precipitación que se hicieron en este capítulo fueron con el ciclo de 12 UTC, coincidente con las mediciones de precipitación a las 12 UTC.

5.2.1 Parametrizaciones en la capa superficial

Se utiliza un modelo de suelo de 4 capas que provee una descripción rigurosa de los procesos en la superficie. En él se calculan los flujos verticales de calor y humedad.

El tipo de suelo, la cobertura de nieve, vegetación y fracción de verde se especifican como función de la ubicación geográfica y temporal. La variabilidad en estas cantidades permite un manejo mejor de factores como la permeabilidad del suelo, los efectos de la transpiración y el albedo.

Para el intercambio turbulento en la vertical se usa un esquema de Mellor-Yamada. El valor de TKE obtenido es utilizado para calcular los coeficientes de intercambio de calor, humedad y momento entre niveles adyacentes.

Los flujos de humedad y calor (flujos verticales turbulentos) entre la superficie y el primer nivel del modelo se calculan usando las funciones de Monin-Obukov.

5.2.2 Convección y Precipitación

La precipitación convectiva y de gran escala son cantidades pronosticadas en el modelo para cada punto de la malla.

Utiliza el esquema de Betts-Miller-Janjic para la parametrización de la convección. La convección poco profunda y no precipitable sirve para llevar

humedad hacia los niveles altos y mantener así las inversiones de temperatura en los niveles bajos. La convección profunda transporta calor y humedad hacia arriba y produce precipitación. Para ambos tipos de convección los perfiles de temperatura y humedad específica son construidos para cada punto de la malla usando los valores que están presentes en el modelo. Estos perfiles son comparados con observaciones de perfiles convectivos para luego ser ajustados a estos perfiles de referencia.

El modelo calcula la precipitación en cada punto de la malla usando un esquema de parametrización de agua de nube explícito (Zhao). Se tienen en cuenta los procesos físicos de la evaporación, condensación, fundición, congelamiento, sublimación y deposición que ocurren en la atmósfera. El esquema también tiene en cuenta el proceso de sembrado que ocurre cuando los cristales caen dentro de nubes más cálidas produciendo cristales de hielo más grandes en esa nube y finalmente la precipitación. Se permite evaporar o sublimar el agua de nube cuando la humedad relativa cae por debajo de cierto valor crítico. Este valor difiere en lugares en donde hay agua o tierra. Este esquema hace una predicción explícita de la relación de mezcla de agua/hielo de nube el cual a su vez pronostica la nubosidad utilizada luego por el esquema de radiación.

5.2.3 Nubosidad y Radiación

El paquete de *radiación* usado en el modelo requiere solo 3 niveles de nubosidad (baja, media y alta) los cuales se determinan por la cantidad de nubes en todos los niveles del modelo, las cuales a su vez fueron calculados por una simple relación basada en la humedad relativa.

Las distribuciones del *dióxido de carbono* y *ozono* utilizados por el modelo son climatológicas y permanecen constantes.

El *albedo* también proviene de la climatología pero se permite que varíe durante el pronóstico. A su vez la cobertura de nieve es calculada a través de los datos analizados y permite que el albedo refleje algo de la realidad.

5.3 Verificaciones con el modelo ETA

Con las salidas del modelo ETA SMN se obtuvieron las series de precipitación pronosticada por el modelo a 24 horas (D+1), a 48 horas (D+2) y a 72 horas (D+ 3) para cada día y se compararon con las mediciones en el pluviómetro para ese día.

Cabe mencionar que las estaciones seleccionadas son estaciones de medición de 24 horas, controladas cada hora de acuerdo a lo explicado en el Capítulo I.

Las estaciones elegidas para la verificación del modelo están distribuidas en zonas del país con diferentes regímenes de precipitación y diferente orografía.

Se tomaron 9 estaciones testigo para la verificación del modelo: Salta Aero, Resistencia Aero, Córdoba Aero, Mendoza Aero, Ezeiza Aero, Santa Rosa Aero, Neuquén Aero, Bahía Blanca Aero y Viedma Aero (Fig. 5.1)

Estaciones para la verificación del modelo ETA 2002

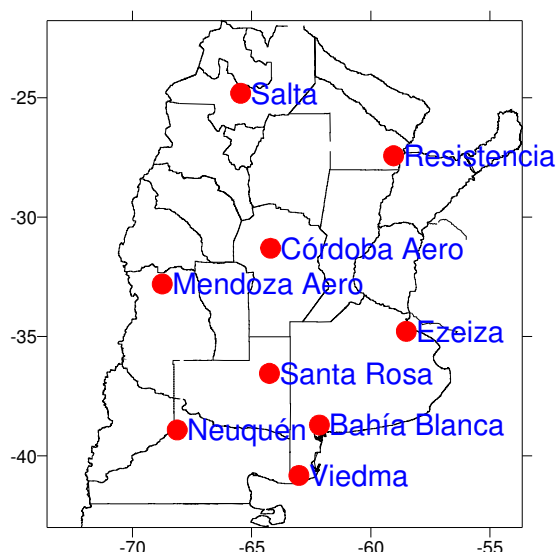


Fig. 5.1 Puntos de verificación del modelo ETA

Se tomaron los puntos de la retícula del modelo ETA más cercanos a las estaciones de observación con pluviómetros, considerando la resolución espacial menor a 30 km, de 0.25° lat y de 0.25° de long, lo que equivale a decir un error menor a los 15 km.

El máximo porcentaje de datos faltantes fue de 2,5%, tanto para los datos de pluviómetro como para los obtenidos del modelo a 24, 48 y 72 horas.

Con el fin de mostrar el régimen de la precipitación se incluyeron las estadísticas climatológicas 1991-2000 de la cantidad de precipitación, de la frecuencia de días con precipitación $\geq 0.1\text{mm}$ y de la máxima precipitación en 24 horas.

Se calcularon los totales anuales de precipitación medidos y los totales dados por el modelo con el pronóstico a 24, 48 y 72 horas (D+1, D+2 y D+3 respectivamente). Lo correspondiente se hizo a nivel mensual.

Se calcularon los valores estadísticos de las diferencias entre el registro de pluviómetro y el modelo para D+1, D+2 y D+3.

También se calculó el porcentaje de casos para todas las combinaciones posibles entre pluviómetro y modelo para D+1, D+2 y D+3, con y sin precipitación. Se presenta un resumen de los aciertos para D+1, D+2 y D+3.

Para cada estación se siguió el mismo esquema de presentación en gráficos y tablas por lo que se explicará en detalle qué significa cada gráfico y cada tabla sólo para la primera estación (Salta).

5.3.1 Salta Aero

En la Fig. 5.2 se muestra el régimen de lluvias para Salta, con precipitaciones predominantemente en el semestre cálido. Los meses de diciembre y enero son los de mayores precipitaciones y las más intensas.

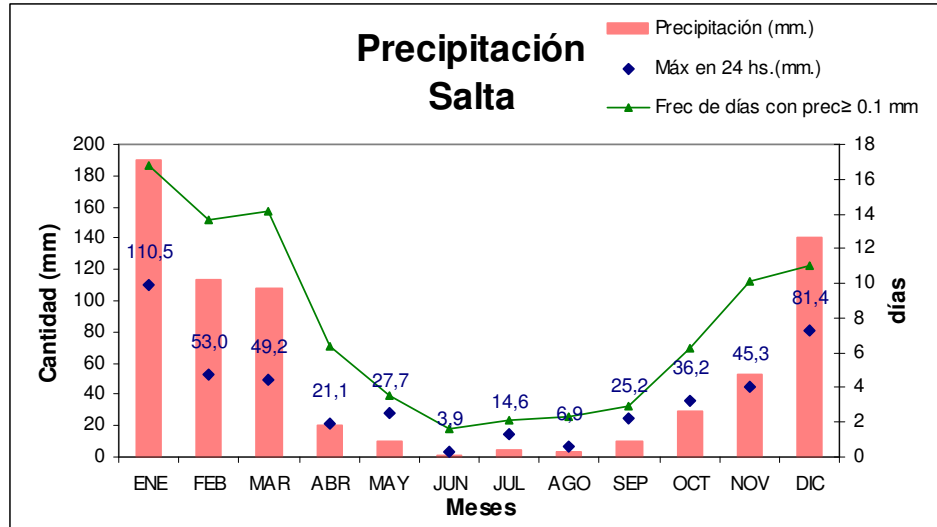


Fig. 5.2 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Salta

En Fig. 5.3 a) a d) se muestran los totales de precipitación dados por el modelo vs el pluviómetro, primeramente a nivel anual y luego a nivel mensual para el pronóstico a 24, 48 y 72 horas, respectivamente.

En términos generales el modelo da más precipitación en Salta que la medición en el pluviómetro. Las mayores diferencias fueron los meses de verano durante los veranos 2004-2005 y 2005-2006.

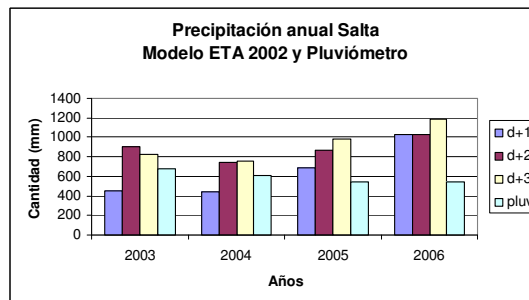


Fig. 5.3 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

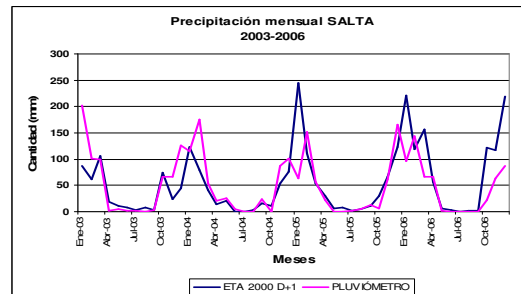


Fig. 5.3 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

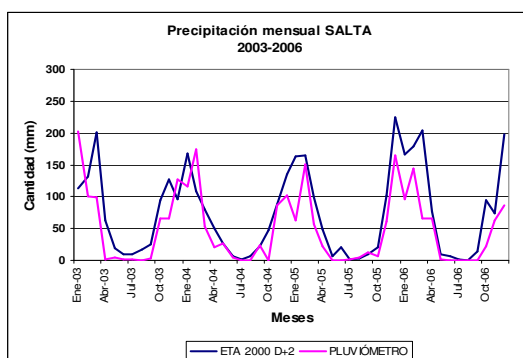


Fig. 5.2 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

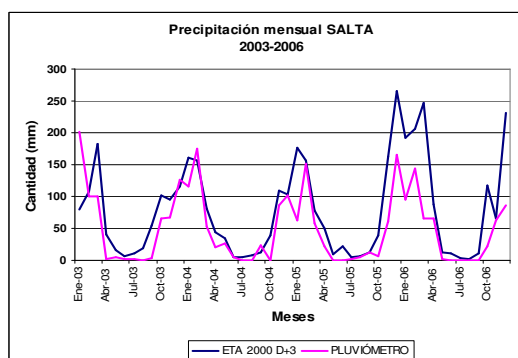


Fig. 5.2 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro

En la Tabla 5.1 se muestran los estadísticos de las series de las diferencias entre pluviómetro y modelo a 24, 48 y 72 hs. Si bien hay casos de diferencias importantes que rondan los 50 mm de diferencia, las desviaciones estándar para los 3 días de pronóstico son pequeñas. No se identifican grandes diferencias en la verificación a 24, 48 o 72 horas. Prácticamente se comportan en forma similar.

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Salta			
	d+1	d+2	d+3
Media	-0,2	-0,9	-1,0
Error típico	0,2	0,2	0,2
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	6,1	7,0	7,9
Curtosis	26,8	16,0	14,1
Coeficiente de asimetría	1,1	0,8	0,2
Mínimo	-56,0	-45,8	-52,4
Máximo	53,6	57,8	56,7
Casos	1429	1428	1428
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,3	0,4	0,4

Tabla 5.1

En la Tabla 5.2 se muestran los porcentajes de casos donde se dieron todas las combinaciones posibles sin precipitación y con precipitación, tanto sea en el pluviómetro como en el modelo a 24, 48 y 72 horas. En fucsia figuran los casos de errores reiterados durante días de precipitación en el pluviómetro y sin precipitación en el modelo (sorpresas) y en amarillo figuran los casos de no precipitación en el pluviómetro y precipitación en el modelo durante 3 días (falsas alarmas).

Los casos de error de pronóstico reiterados, llamados así cuando existe error durante los tres días de pronóstico, están del orden de 24%, entre falsas alarmas y sorpresas.

Salta					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	26	8,0
P	SP	P	P	12	3,7
P	SP	SP	P	6	1,9
P	SP	P	SP	2	0,6
P	P	SP	SP	39	12,1
P	P	P	P	175	54,2
P	P	SP	P	15	4,6
P	P	P	SP	48	14,9
Total casos				323	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	460	41,1
SP	SP	P	P	171	15,3
SP	SP	SP	P	141	12,6
SP	SP	P	SP	50	4,5
SP	P	SP	SP	41	3,7
SP	P	P	P	176	15,7
SP	P	SP	P	17	1,5
SP	P	P	SP	63	5,6
Total casos				1119	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

	Error 3 días seguidos
	Acierto a 24 hs
	Acierto a 48 hs
	Acierto a 72 hs

Tabla 5.2

En la Tabla 5.3 se muestran los porcentajes de acierto del modelo a 24, 48 y 72 horas, para casos de precipitación y casos de no precipitación. El modelo en Salta pronostica mejor los días de precipitación que los de no precipitación.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.3), es decir que mantuvieron el pronóstico de precipitación o no precipitación durante las 48 o 72 horas. Estos casos tienen la máxima probabilidad de entrar en el análisis de persistencia del modelo.

	P	SP
Acuerdo a 24 hs	85,8	73,5
Acuerdo a 48 hs	69,0	53,7
Acuerdo a 72 hs	54,2	41,1

Tabla 5.3 Porcentaje de aciertos sostenidos

Casos de aciertos en general (Tabla 5.4), son aquellos que no mantuvieron el pronóstico de precipitación o no precipitación durante las 48 o 72 horas pero que acertaron al final del período. Estos casos tienen alguna probabilidad de

entrar en el análisis de persistencia. Estos porcentajes de aciertos serán en todos los casos mayores que los aciertos sostenidos pues se les exige menos para ser incluidos.

	P	SP
Acierto a 24 hs	85,8	73,5
Acierto a 48 hs	73,4	58,9
Acierto a 72 hs	64,4	54,9
Tabla 5.4 Porcentaje de aciertos en general		

5.3.2 Resistencia

La precipitación de Resistencia se caracteriza por ser mayor en el semestre cálido.

La mayor frecuencia de precipitación es en el mes de octubre, sin embargo la mayor cantidad se da en el mes de febrero, debido a precipitaciones más intensas (Fig. 5.3).

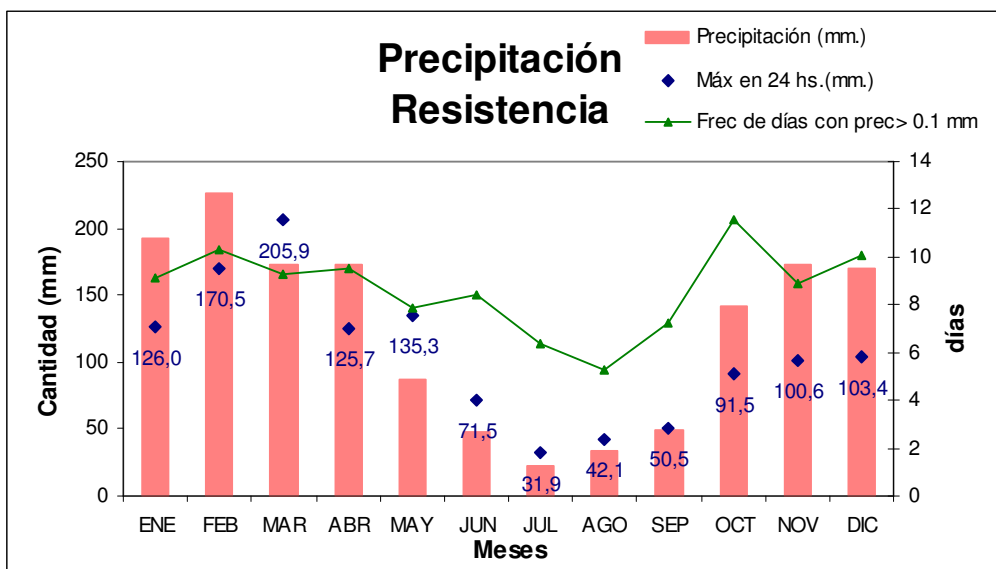


Fig. 5.3 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Resistencia

El modelo, en Resistencia, da como resultado menor precipitación que la observada, en general. Particularmente el modelo no pronosticó bien los meses de noviembre de 2003 y abril de 2005.

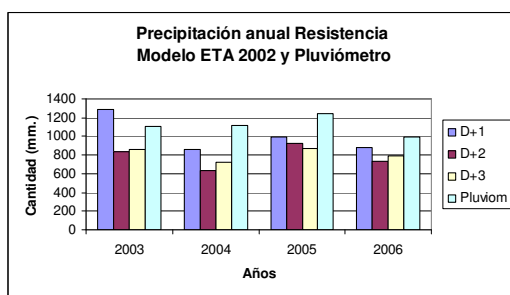


Fig. 5.4 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

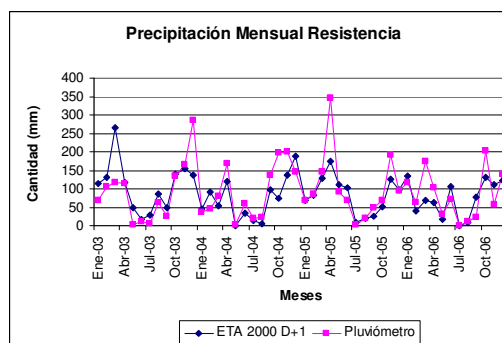


Fig. 5.4 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

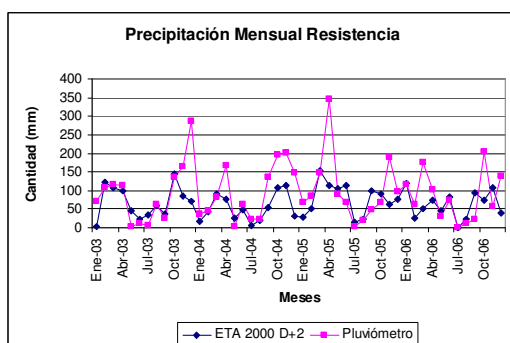


Fig. 5.4 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

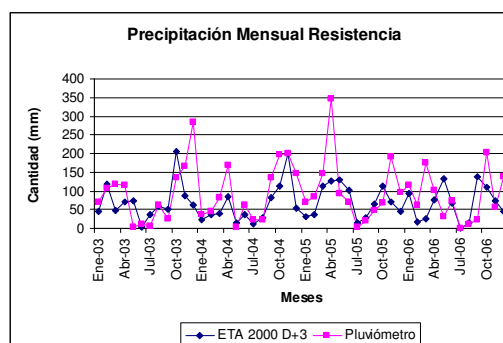


Fig. 5.4 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro

La desviación estándar de las diferencias entre pluviómetro y modelo para 24, 48 y 72 horas toman valores entre 9,2 y 12,8 mm (Tabla 5.5).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA - 2003-2006 Resistencia			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,3	0,9	0,8
Error típico	0,2	0,3	0,3
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	9,2	12,2	12,8
Curtosis	58,5	29,7	27,9
Coefficiente de asimetría	5,4	3,2	3,0
Mínimo	-33,0	-71,8	-91,9
Máximo	136,4	136,4	141,7
Casos	1432	1431	1431
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,48	0,63	0,66

Tabla 5.5

Los casos de errores reiterados en Resistencia se encuentran en el 15,6% de los casos (Tabla 5.6).

Resistencia					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	38	11,3
P	SP	P	P	17	5,1
P	SP	SP	P	6	1,8
P	SP	P	SP	11	3,3
P	P	SP	SP	111	33,0
P	P	P	P	64	19,0
P	P	SP	P	18	5,4
P	P	P	SP	71	21,1
Total casos				336	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	805	64,1
SP	SP	P	P	103	8,2

SP	SP	SP	P	143	11,4
SP	SP	P	SP	34	2,7
SP	P	SP	SP	55	4,4
SP	P	P	P	54	4,3
SP	P	SP	P	21	1,7
SP	P	P	SP	40	3,2
Total casos				1255	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

	Error 3 días seguidos
	Acierto a 24 hs
	Acierto a 48 hs
	Acierto a 72 hs

Tabla 5.6

El modelo pronosticó mejor los días sin precipitación que con precipitación. El pronóstico baja rápidamente su acierto de precipitación cuando se pasa de 24 horas a 48 y a 72 horas, debido a la naturaleza de la precipitación convectiva en esta zona y a la menor previsibilidad de estos fenómenos y la mayor dificultad de representación de los procesos de nubes convectivas en el modelo (Tabla 5.7).

Casos de aciertos sostenidos

	P	SP
Acierto a 24 hs	78,6	86,5
Acierto a 48 hs	40,2	75,5
Acierto a 72 hs	19,0	64,1

Tabla 5.7 Porcentaje de aciertos sostenidos

Casos de aciertos en general (Tabla 5.8).

	P	SP
Acierto a 24 hs	78,6	86,5
Acierto a 48 hs	48,5	81,6
Acierto a 72 hs	31,3	71,2

Tabla 5.8 Porcentaje de aciertos en general

5.3.3 Córdoba Aero

La precipitación en Córdoba presenta su máximo en el mes de diciembre y los meses de mayor frecuencia se ubican en diciembre y enero. Las mayores intensidades de la precipitación son en el semestre cálido.

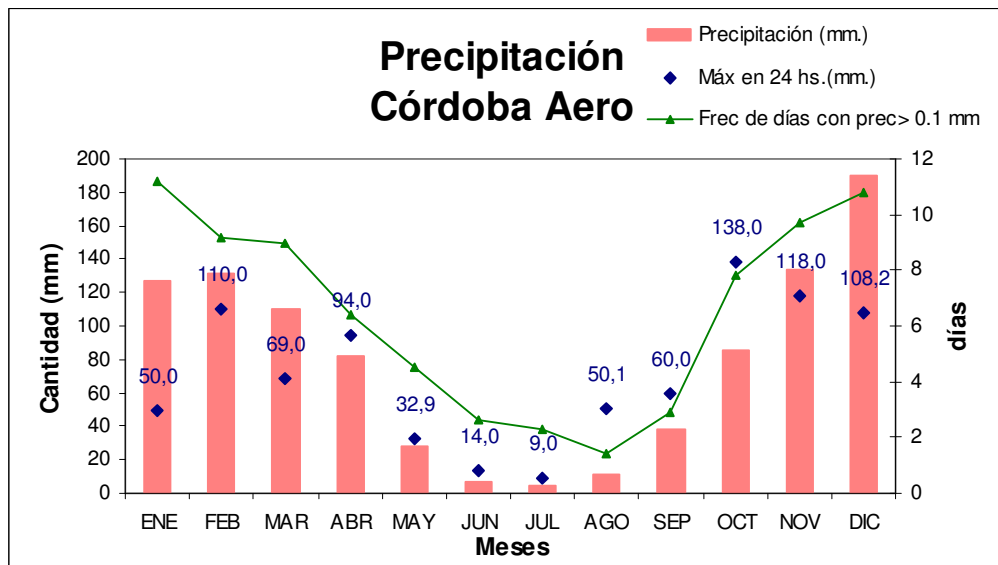


Fig. 5.5 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Córdoba Aero

El modelo en Córdoba da por defecto en los meses de mayores precipitaciones. El mes que menos verifica es el mes de diciembre.

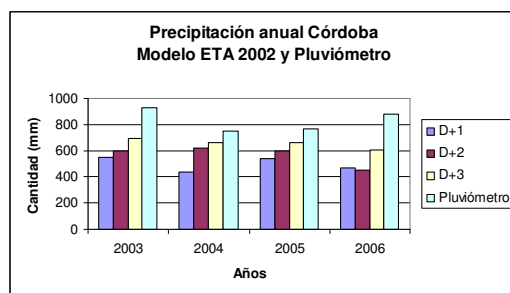


Fig. 5.6 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

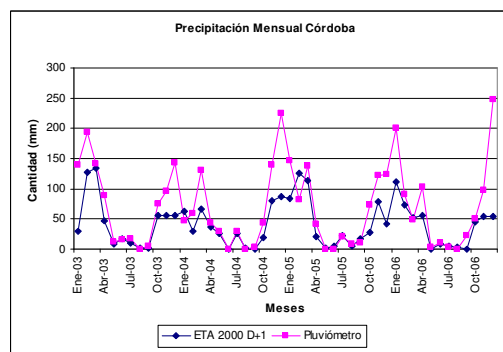


Fig. 5.6 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

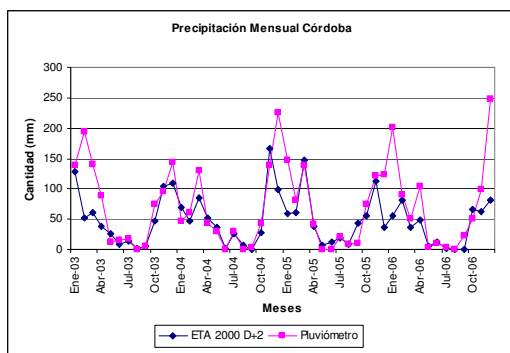


Fig. 5.6 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

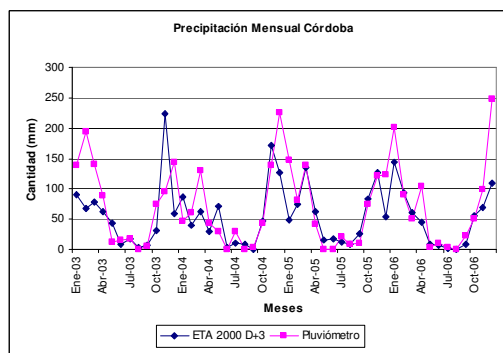


Fig. 5.6 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro

Las desviaciones estándar de los errores de pronóstico se encuentran entre 6,7mm y 9,8mm para 24 y 72 horas respectivamente (Tabla 5.9).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Córdoba Aero			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,9	0,7	0,5
Error típico	0,2	0,2	0,3
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	6,7	9,1	9,8
Curtosis	35,9	30,7	24,4
Coefficiente de asimetría	4,6	3,2	2,7
Mínimo	-36,3	-60,3	-53,7
Máximo	71	107,5	108
Casos	1428	1427	1427
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,35	0,47	0,51

Tabla 5.9

Los errores reiterados ascienden a 16,6 % (Tabla 5.10).

Córdoba Aero					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	33	12,2
P	SP	P	P	14	5,2
P	SP	SP	P	7	2,6
P	SP	P	SP	7	2,6
P	P	SP	SP	55	20,3
P	P	P	P	77	28,4
P	P	SP	P	18	6,6
P	P	P	SP	60	22,1
Total casos				271	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	739	62,4
SP	SP	P	P	104	8,8
SP	SP	SP	P	131	11,1
SP	SP	P	SP	50	4,2

SP	P	SP	SP	47	4,0
SP	P	P	P	52	4,4
SP	P	SP	P	18	1,5
SP	P	P	SP	43	3,6
Total casos				1184	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

	Error 3 días seguidos
	Acierto a 24 hs
	Acierto a 48 hs
	Acierto a 72 hs

Tabla 5.10

El modelo pronosticó mejor los días sin precipitación que con precipitación. El pronóstico baja rápidamente su acierto de precipitación cuando se pasa de 24 horas a 48 y a 72 horas.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.11).

	P	SP
Acierto a 24 hs	77,5	86,5
Acierto a 48 hs	50,6	73,5
Acierto a 72 hs	28,4	62,4

Tabla 5.11 Porcentaje de aciertos sostenidos

Casos de aciertos en general (Tabla 5.12)

	P	SP
Acierto a 24 hs	77,5	86,5
Acierto a 48 hs	58,3	79
Acierto a 72 hs	42,8	74,2

Tabla 5.12 Porcentaje de aciertos en general

5.3.4 Mendoza Aero

Mendoza presenta un régimen de precipitación con precipitaciones mayores en los meses de enero a marzo. Las frecuencias de la precipitación son mayores en noviembre y enero, con máximas intensidades en este último mes debido a tormentas severas.

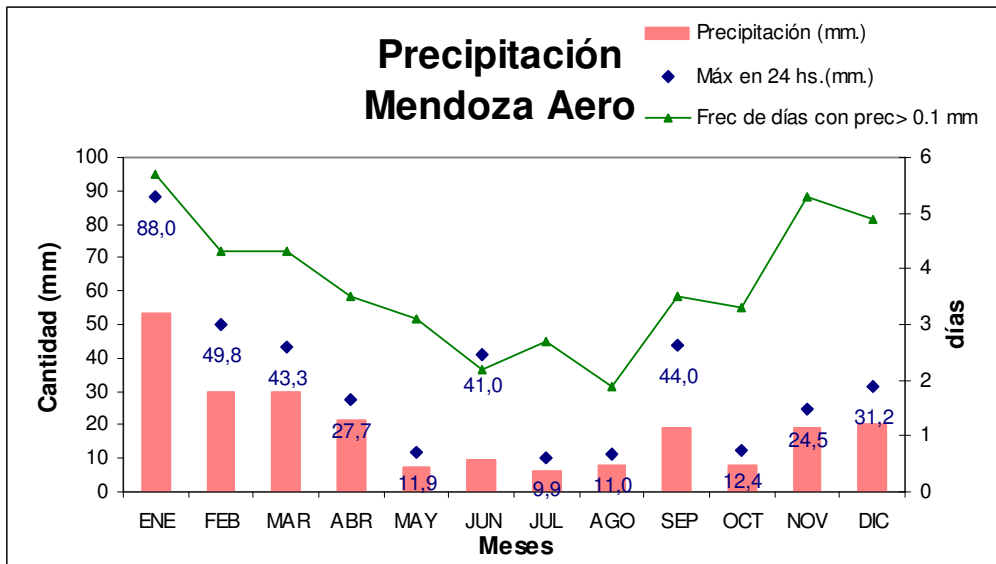


Fig. 5.7 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Mendoza Aero

El modelo, en Mendoza, a nivel anual pronostica a 24 horas menores precipitaciones que las observadas y a 48 y 72 horas en cambio lo hace por exceso.

Durante los meses de mayor precipitación el ajuste no es bueno.

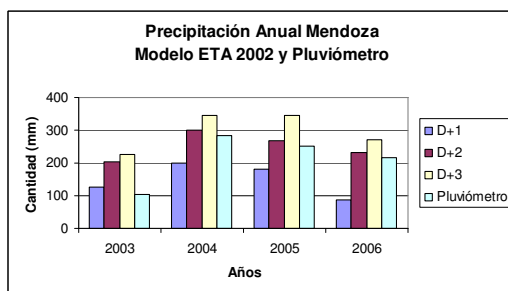


Fig. 5.8 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

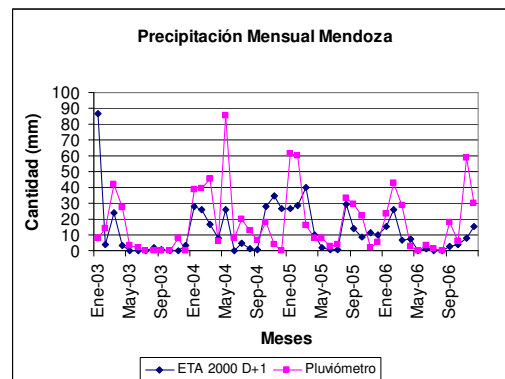


Fig. 5.8 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

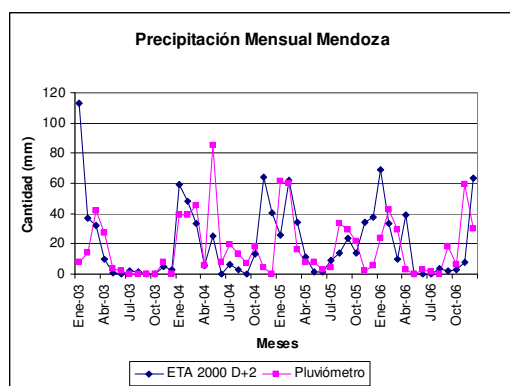


Fig. 5.8 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

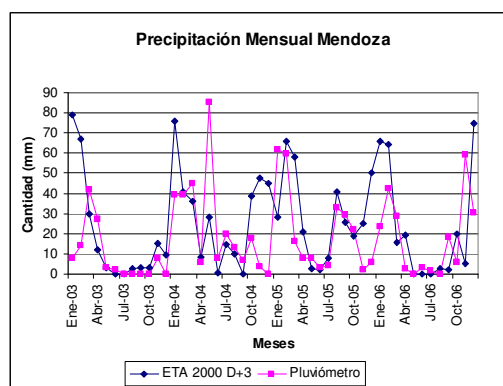


Fig. 5.8 d) Precipitación mensual modelo y pluviómetro

La desviación estándar de las diferencias entre pluviómetro y modelo son pequeñas, entre 2,9 mm. a 24 horas y 3,7 mm. a 72 horas (Tabla 5.13).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Mendoza Aero			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,2	-0,1	-0,2
Error típico	0,1	0,1	0,1
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	2,9	3,3	3,7
Curtosis	63,2	38,2	30,5
Coefficiente de asimetría	5,6	3,8	2,0
Mínimo	-22,7	-20,2	-28,8
Máximo	34,9	36,6	36,7
Casos	1430	1429	1429
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,15	0,17	0,19

Tabla 5.13

Los errores reiterados suman el 29,2% de los casos, aunque estos errores son de pocos milímetros (Tabla 5.14).

Mendoza Aero					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	43	24,6
P	SP	P	P	7	4,0
P	SP	SP	P	10	5,7
P	SP	P	SP	14	8,0
P	P	SP	SP	26	14,9
P	P	P	P	38	21,7
P	P	SP	P	5	2,9
P	P	P	SP	32	18,3
Total casos				175	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	831	62,1
SP	SP	P	P	108	8,1

SP	SP	SP	P	147	11,0
SP	SP	P	SP	66	4,9
SP	P	SP	SP	26	1,9
SP	P	P	P	61	4,6
SP	P	SP	P	14	1,0
SP	P	P	SP	85	6,4
Total casos				1338	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

	Error 3 días seguidos
	Acierto a 24 hs
	Acierto a 48 hs
	Acierto a 72 hs

Tabla 5.14

El modelo, para Mendoza, pronostica mucho mejor los días de no precipitación que los días con precipitación. El acierto de precipitación a 72 horas para días de precipitación es muy bajo.

El estudio de los mecanismos dinámicos y termodinámicos relacionados con la orografía y su relación con la iniciación, desarrollo y evolución de los sistemas convectivos y la distribución espacio-temporal de las tormentas en esta región es un capítulo todavía abierto para seguir investigando.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.15)

	P	SP
Acierto a 24 hs	57,7	86,1
Acierto a 48 hs	40,0	73,1
Acierto a 72 hs	21,7	62,1

Tabla 5.15 Porcentaje de aciertos sostenidos

Casos de aciertos en general (Tabla 5.16)

	P	SP
Acierto a 24 hs	57,7	86,1
Acierto a 48 hs	52,0	76,0
Acierto a 72 hs	34,3	75,3

Tabla 5.16 Porcentaje de aciertos en general

5.3.5 Ezeiza Aero

Las precipitaciones en Ezeiza se caracterizan por tener dos épocas de máximas precipitaciones, de octubre a enero por tormentas convectivas y abril-mayo por pasaje de frentes y ciclogénesis.

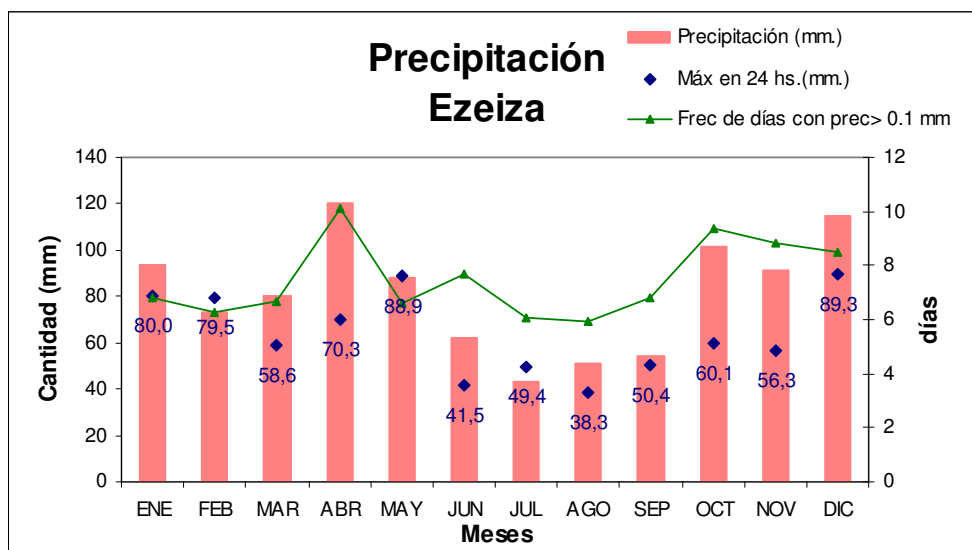


Fig. 5.9 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Ezeiza

El modelo a nivel anual, en Ezeiza, pronosticó mejor a 48 y 72 horas que a 24 horas. Nuevamente se presenta el mes de enero de 2005 como un mes con mayor diferencia entre el modelo y la medición.

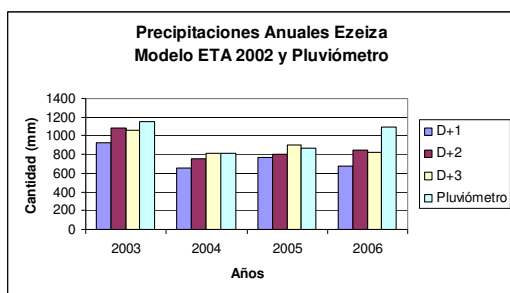


Fig. 5.10 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

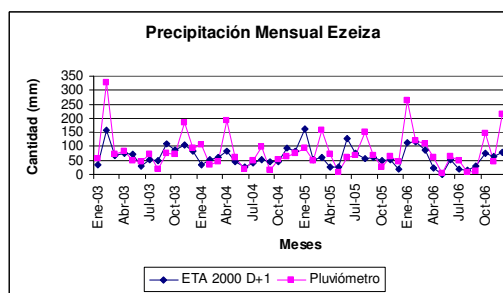


Fig. 5.10 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

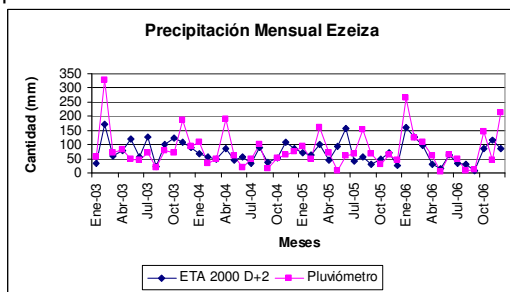


Fig. 5.10 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

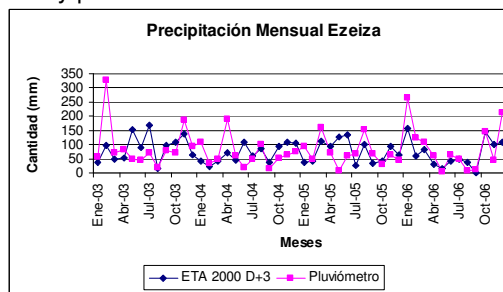


Fig. 5.10 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro





La desviación estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo toma valores entre 7 mm y 10,4 mm (Tabla 5.17).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Ezeiza			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,5	0,2	0,1
Error típico	0,2	0,2	0,3
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	7,0	9,3	10,4
Curtosis	32,5	19,4	16,0
Coeficiente de asimetría	3,0	1,1	2,0
Mínimo	-62,2	-85,7	-49,6
Máximo	75,0	69,4	86,0
Casos	1432	1431	1431
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,37	0,48	0,54

Tabla 5.17

Los casos de errores reiterados en Ezeiza ascienden a 11,4% de los casos (Tabla 5.18).

Ezeiza					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	30	8,0
P	SP	P	P	20	5,3
P	SP	SP	P	13	3,4
P	SP	P	SP	20	5,3
P	P	SP	SP	94	24,9
P	P	P	P	94	24,9
P	P	SP	P	26	6,9
P	P	P	SP	80	21,2
Total casos				377	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	609	56,7
SP	SP	P	P	102	9,5
SP	SP	SP	P	169	15,7
SP	SP	P	SP	75	7,0
SP	P	SP	SP	48	4,5
SP	P	P	P	36	3,4
SP	P	SP	P	16	1,5
SP	P	P	SP	19	1,8
Total casos				1074	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

 Error 3 días seguidos
 Acierto a 24 hs
 Acierto a 48 hs
 Acierto a 72 hs
 Tabla 5.18

El porcentaje de acierto es muy superior con días sin precipitación que con días con precipitación, especialmente a 48 y 72 horas.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.19)

	P	SP
Acierto a 24 hs	78,0	88,9
Acierto a 48 hs	46,2	72,4
Acierto a 72 hs	24,9	56,7
Tabla 5.19 Porcentaje de aciertos sostenidos		

Casos de aciertos en general (Tabla 5.20)

	P	SP
Acierto a 24 hs	78,0	88,9
Acierto a 48 hs	55,8	78,4
Acierto a 72 hs	34,5	70,0
Tabla 5.20 Porcentaje de aciertos en general		

5.3.6 Santa Rosa Aero

La precipitación en Santa Rosa presenta mayores valores para los meses noviembre a marzo.

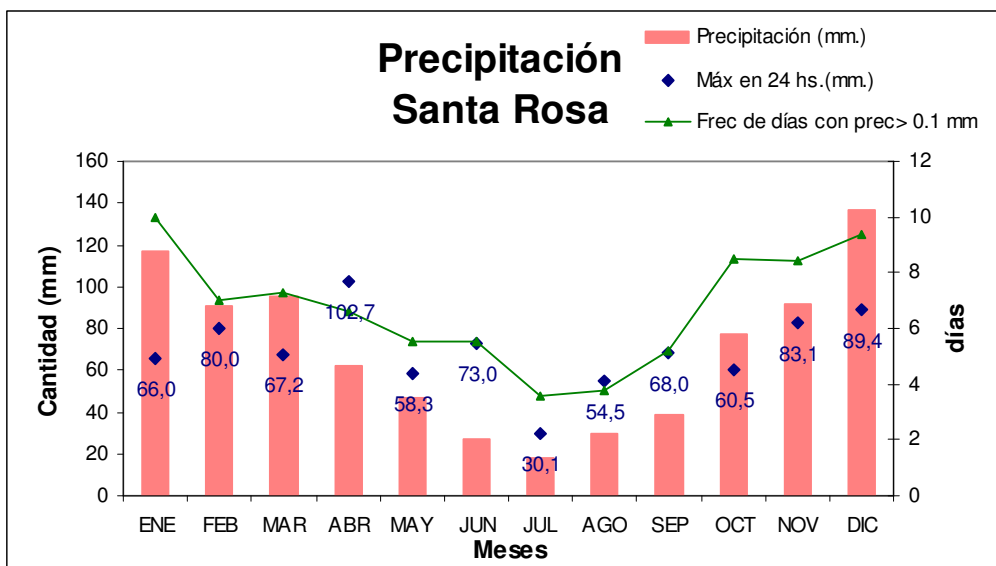


Fig. 5.11 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Santa Rosa

El modelo a nivel anual pronostica por defecto en todos los períodos de pronóstico, aunque mejora a 48 y 72 horas.

A nivel mensual el mejor ajuste es a 48 horas de pronóstico.

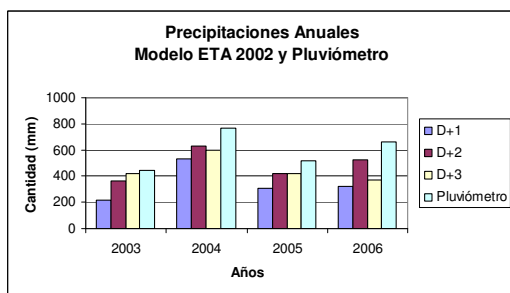


Fig. 5.12 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

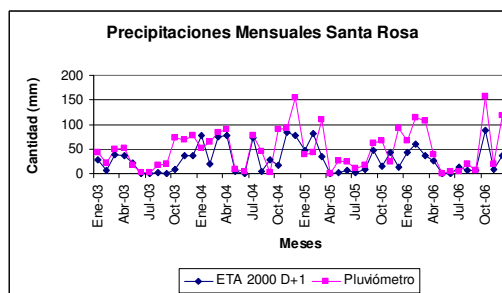


Fig. 5.12 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

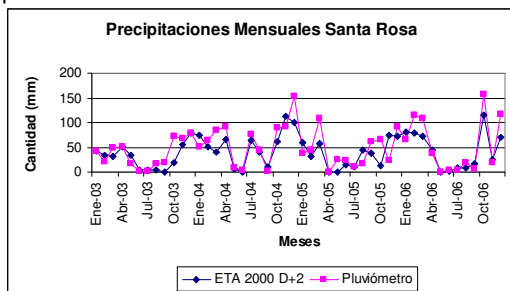


Fig. 5.12 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

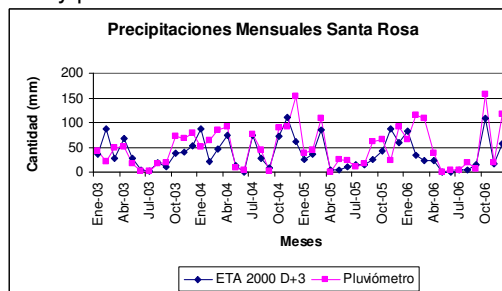


Fig. 5.12 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro

Las desviaciones estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo a 24, 48 y 72 horas tienen valores entre 5,1 mm y 7,2 mm (Tabla 5.21).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Santa Rosa			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,7	0,3	0,4
Error típico	0,1	0,2	0,2
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	5,1	7,0	7,2
Curtosis	34,0	28,7	29,3
Coeficiente de asimetría	3,8	2,5	2,9
Mínimo	-32,3	-39,3	-48,7
Máximo	59,2	83,9	84,0
Casos	1432	1431	1431
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,26	0,36	0,37

Tabla 5.21

Los casos de errores reiterados en Santa Rosa ascienden a 22,4% de los casos (Tabla 5.22).

Santa Rosa					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	50	19,2
P	SP	P	P	18	6,9
P	SP	SP	P	6	2,3
P	SP	P	SP	17	6,5
P	P	SP	SP	50	19,2
P	P	P	P	53	20,4
P	P	SP	P	20	7,7
P	P	P	SP	46	17,7
Total casos				260	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	762	65,1
SP	SP	P	P	104	8,9
SP	SP	SP	P	122	10,4
SP	SP	P	SP	60	5,1
SP	P	SP	SP	33	2,8
SP	P	P	P	37	3,2
SP	P	SP	P	17	1,5
SP	P	P	SP	35	3,0
Total casos				1170	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado





 Error 3 días seguidos
 Acierto a 24 hs
 Acierto a 48 hs
 Acierto a 72 hs

Tabla 5.22

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.23)

	P	SP
Acierto a 24 hs	65,0	89,6
Acierto a 48 hs	38,1	75,6
Acierto a 72 hs	20,4	65,1
Tabla 5.23 Porcentaje de aciertos sostenidos		

El porcentaje de aciertos para Santa Rosa baja fuertemente para pronósticos a 48 y 72 horas si se le exige acierto sostenido.

Casos de aciertos en general (Tabla 5.24)

	P	SP
Acierto a 24 hs	65,0	89,6
Acierto a 48 hs	51,5	79,8
Acierto a 72 hs	37,3	76,0
Tabla 5.24 Porcentaje de aciertos en general		

El pronóstico a 72 horas en días con precipitación tiene una baja verificación.

5.3.7 Neuquén Aero

En Neuquén la precipitación es baja durante todo el año, con máximos en otoño y primavera.

Las mayores frecuencias de precipitación mensual se dan en el mes de abril a junio, especialmente en este último mes.

Los máximos de precipitación en 24 horas, durante la mayoría de los meses, superan el total medio mensual.

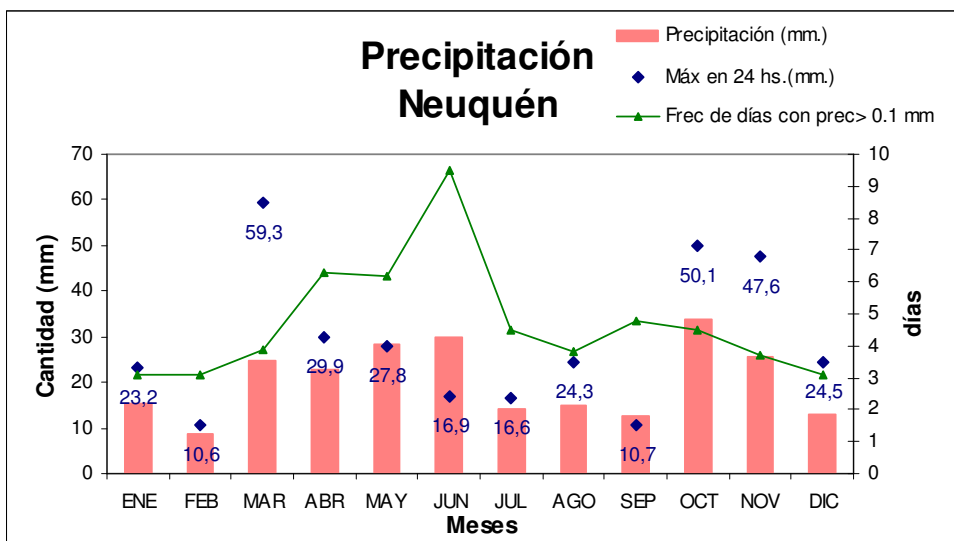


Fig. 5.13 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Neuquén

El modelo en Neuquén, a nivel anual, se comporta cercano a la medición.

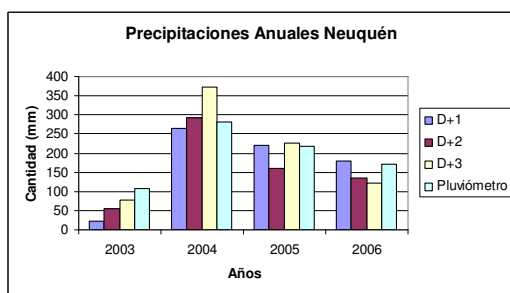


Fig. 5.14 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

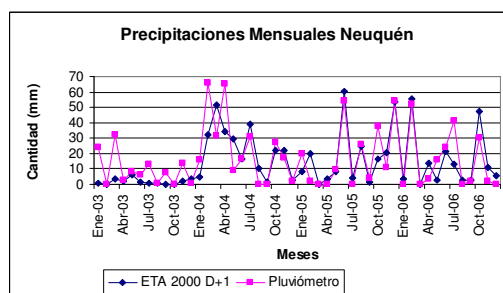


Fig. 5.14 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

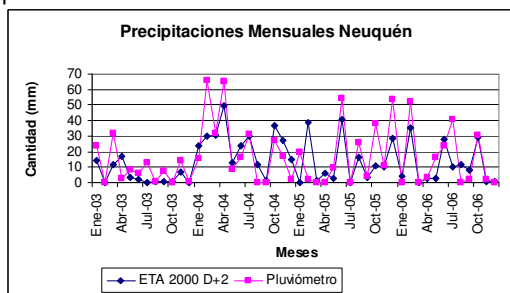


Fig. 5.14 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

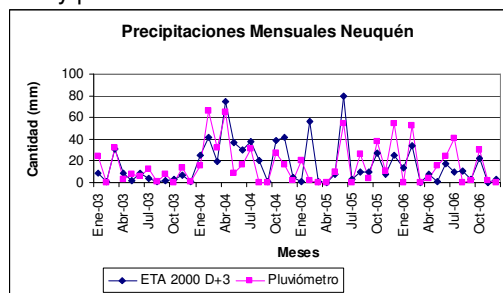


Fig. 5.14 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro





La desviación estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo es pequeña y se encuentra entre 2,3 mm y 3,7 mm (Tabla 5.25).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Neuquén			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,0	0,1	24,6
Error típico	0,1	0,1	0,1
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	2,3	3,3	3,7
Curtosis	69,5	58,6	58,4
Coeficiente de asimetría	3,4	3,5	0,7
Mínimo	-26,1	-32,5	-49,5
Máximo	32,8	44,9	45,0
Casos	1426	1425	1425
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,12	0,17	0,19

Tabla 5.25

Los casos de errores reiterados ascienden a 19,8% (Tabla 5.26).

Neuquén					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	31	18,5
P	SP	P	P	7	4,2
P	SP	SP	P	7	4,2
P	SP	P	SP	4	2,4
P	P	SP	SP	54	32,1
P	P	P	P	24	14,3
P	P	SP	P	10	6,0
P	P	P	SP	31	18,5
Total casos				168	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	909	71,1
SP	SP	P	P	59	4,6
SP	SP	SP	P	123	9,6
SP	SP	P	SP	72	5,6
SP	P	SP	SP	68	5,3
SP	P	P	P	17	1,3
SP	P	SP	P	9	0,7
SP	P	P	SP	22	1,7
Total casos				1279	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

 Error 3 días seguidos
 Acierto a 24 hs
 Acierto a 48 hs
 Acierto a 72 hs
 Tabla 5.26

El pronóstico de precipitación a 24 horas en Neuquén no es malo, sin embargo a 48 y 72 horas el acierto baja sustancialmente.

El acierto del pronóstico para días sin precipitación es alto.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.27).

	P	SP
Acierto a 24 hs	70,8	90,9
Acierto a 48 hs	32,7	80,7
Acierto a 72 hs	14,3	71,1
Tabla 5.27 Porcentaje de aciertos sostenidos		

Casos de aciertos en general (Tabla 5.28)

	P	SP
Acierto a 24 hs	70,8	90,9
Acierto a 48 hs	39,4	86,7
Acierto a 72 hs	28,7	83,7
Tabla 5.28 Porcentaje de aciertos en general		

5.3.8 Bahía Blanca

La estación de Bahía Blanca, por su ubicación, está afectada por diferentes procesos productores de precipitación, es por ello que presenta una variabilidad mensual con varios máximos relativos.

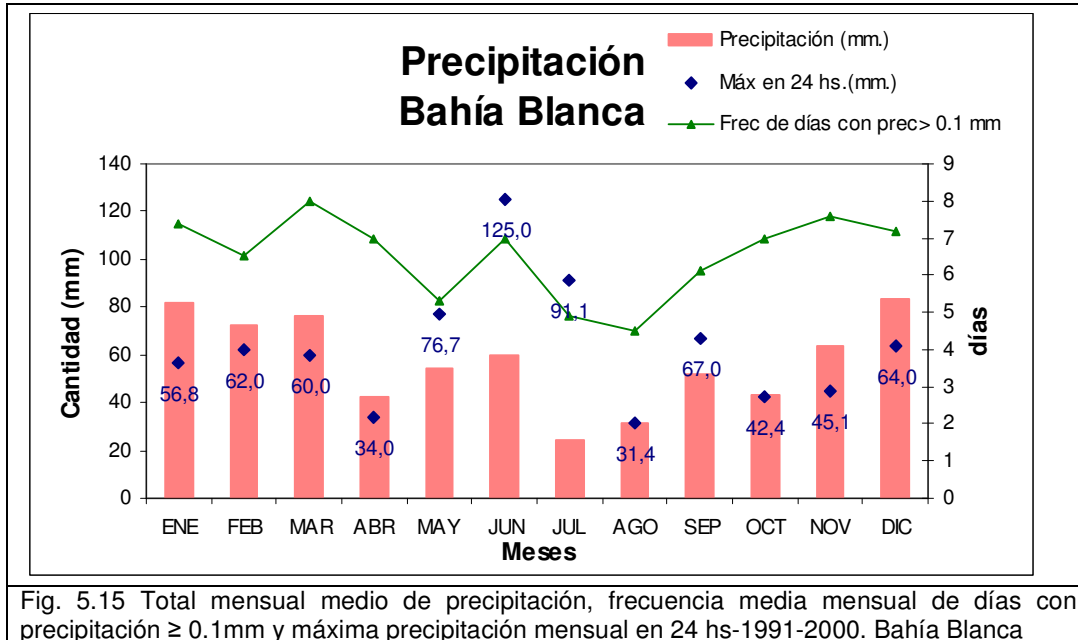


Fig. 5.15 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Bahía Blanca

El modelo, en Bahía Blanca, se comporta a nivel anual cercano a la medición, con máximas diferencias en el mes de octubre. El pronóstico fue mejor en los años de menor precipitación.

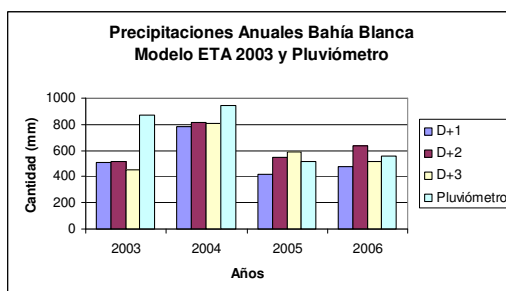


Fig. 5.16 a) Precipitación anual modelo y pluviómetro

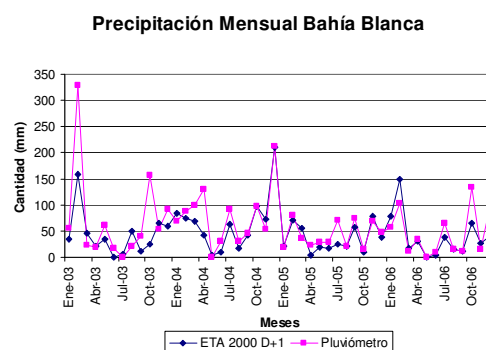


Fig. 5.16 b) Precipitación mensual modelo D+1 y pluviómetro

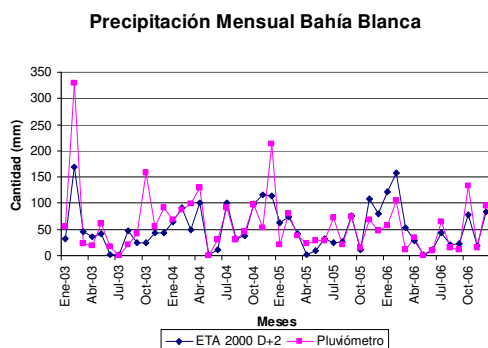


Fig. 5.16 c) Precipitación mensual modelo D+2 y pluviómetro

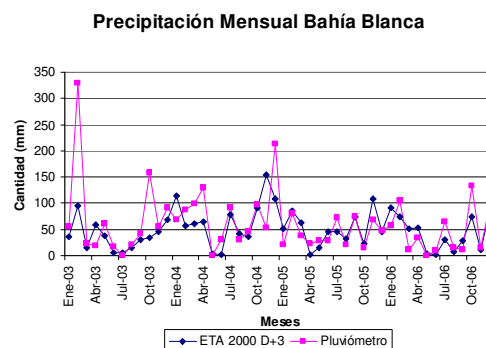


Fig. 5.16 d) Precipitación mensual modelo D+3 y pluviómetro

La desviación estándar de las diferencias va de 5,4 mm a 7,7 mm para pronóstico a 24 horas y 72 horas respectivamente (Tabla 5.29).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Neuquén			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,4	0,2	0,3
Error típico	0,1	0,2	0,2
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	5,4	7,6	7,7
Curtosis	30,0	17,9	17,1
Coeficiente de asimetría	3,1	1,3	2,2
Mínimo	-35,9	-56,6	-46,4
Máximo	54,4	58,5	63,0
Casos	1431	1430	1430
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,28	0,39	0,40

Tabla 5.29

El porcentaje de errores reiterados es de 15,7% (Tabla 5.30).

Bahía Blanca					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	38	11,7
P	SP	P	P	17	5,2
P	SP	SP	P	14	4,3
P	SP	P	SP	10	3,1
P	P	SP	SP	86	26,5
P	P	P	P	75	23,1
P	P	SP	P	17	5,2
P	P	P	SP	68	20,9
Total casos				325	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	606	53,3
SP	SP	P	P	120	10,5
SP	SP	SP	P	149	13,1
SP	SP	P	SP	95	8,3

SP	P	SP	SP	70	6,2
SP	P	P	P	45	4,0
SP	P	SP	P	17	1,5
SP	P	P	SP	36	3,2
Total casos				1138	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

	Error 3 días seguidos
	Acierto a 24 hs
	Acierto a 48 hs
	Acierto a 72 hs

Tabla 5.30

El pronóstico para días sin precipitación es mejor que para días con precipitación, especialmente a 48 y 72 horas. El porcentaje de acierto en este último caso baja significativamente.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.31)

	P	SP
Acierto a 24 hs	75,7	85,2
Acierto a 48 hs	44,0	66,3
Acierto a 72 hs	23,1	53,3

Tabla 5.31 Porcentaje de aciertos sostenidos

Casos de aciertos en general (Tabla 5.32)

	P	SP
Acierto a 24 hs	75,7	85,2
Acierto a 48 hs	52,3	74,1
Acierto a 72 hs	37,8	71,0

Tabla 5.32 Porcentaje de aciertos en general

5.3.9 Viedma Aero

La precipitación mensual, en Viedma, presenta dos máximos, uno en marzo-abril y otro en noviembre.

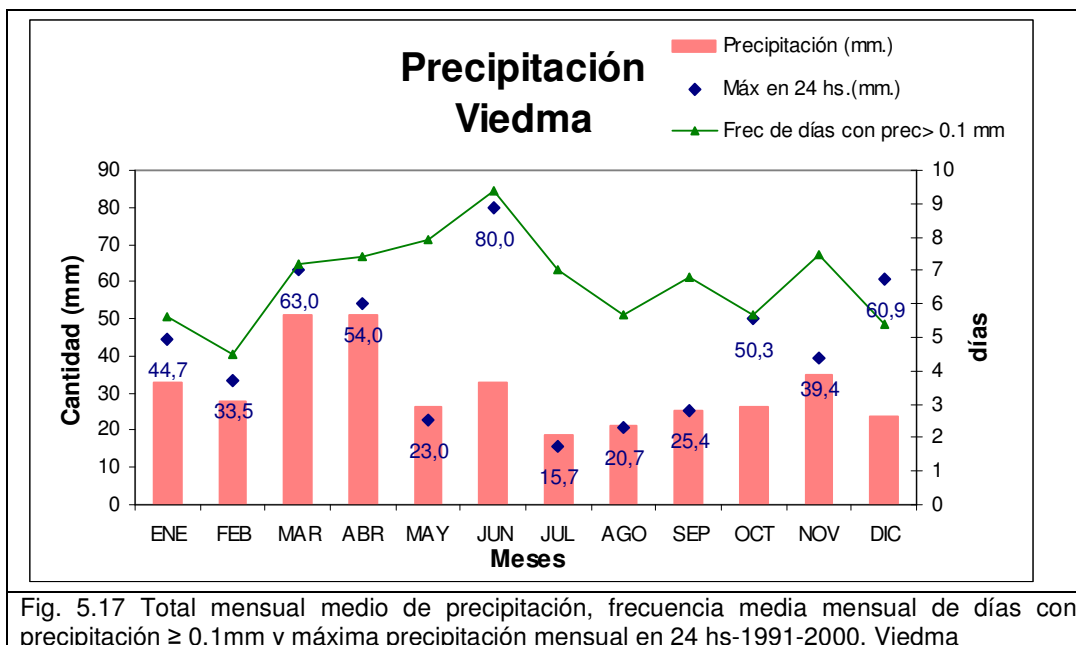
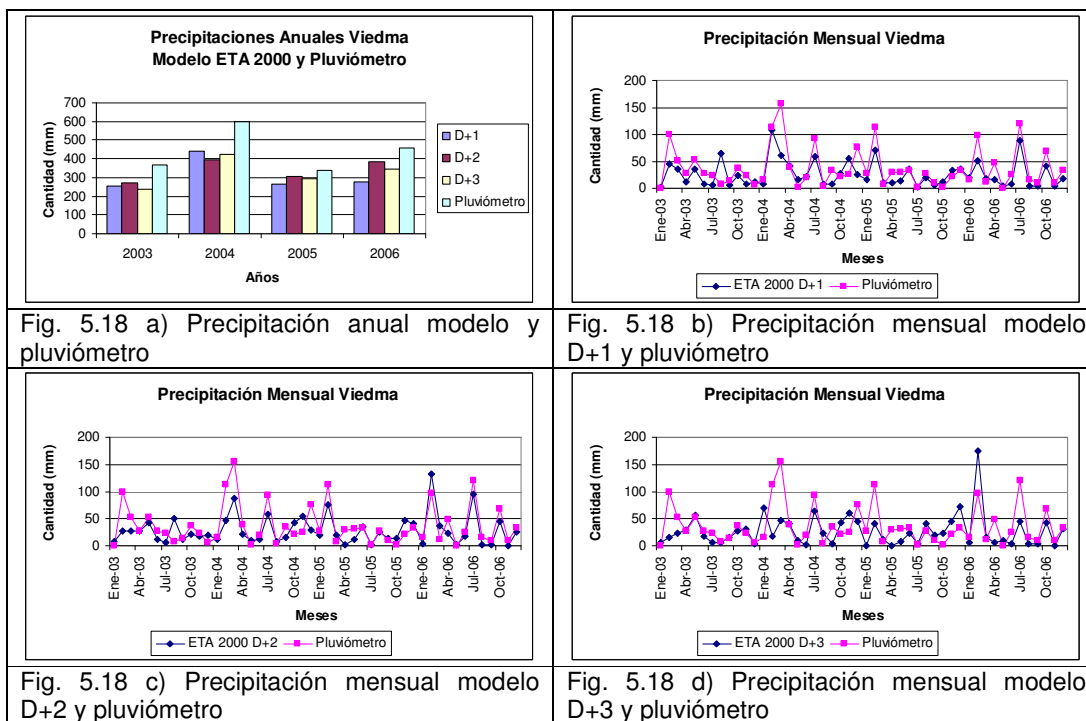


Fig. 5.17 Total mensual medio de precipitación, frecuencia media mensual de días con precipitación ≥ 0.1 mm y máxima precipitación mensual en 24 hs-1991-2000. Viedma

El modelo en Viedma, a nivel anual, dio por defecto, especialmente en el año 2004.

Los meses que más difieren son los febreros.



Las desviaciones estándar de las diferencias se encuentran entre 3,6 y 6,1 para 24 y 72 horas de pronóstico respectivamente (Tabla 5.33).

Diferencias Pluviómetro- modelo ETA 2003-2006 Viedma			
	d+1	d+2	d+3
Media	0,3	0,3	0,3
Error típico	0,1	0,2	0,2
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
Desviación estándar	3,6	6,0	6,1
Curtosis	60,9	63,9	42,0
Coeficiente de asimetría	3,8	-0,5	2,2
Mínimo	-41,3	-81,4	-72,2
Máximo	43,5	62,8	63,0
Casos	1433	1431	1431
Nivel de confianza para la media(95,0%)	0,19	0,31	0,32

Tabla 5.33

Los errores reiterados fueron el 20,4% de los casos (Tabla 5.34).

Viedma					
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
P	SP	SP	SP	48	18,7
P	SP	P	P	16	6,2
P	SP	SP	P	8	3,1
P	SP	P	SP	17	6,6
P	P	SP	SP	48	18,7
P	P	P	P	49	19,1
P	P	SP	P	11	4,3
P	P	P	SP	60	23,3
Total casos				257	
Pluviómetro	D+1	D+2	D+3	Casos	%
SP	SP	SP	SP	708	61,7
SP	SP	P	P	80	7,0
SP	SP	SP	P	137	11,9
SP	SP	P	SP	94	8,2
SP	P	SP	SP	59	5,1
SP	P	P	P	20	1,7
SP	P	SP	P	16	1,4
SP	P	P	SP	33	2,9
Total casos				1147	
SP	Sin precipitación		P	Precipitación	Error reiterado

 Error 3 días seguidos

 Acierto a 24 hs

 Acierto a 48 hs

 Acierto a 72 hs

Tabla 5.34

Los casos de precipitación tienen un porcentaje bajo de acierto en el pronóstico a 48 y 72 horas.

Casos de aciertos sostenidos (Tabla 5.35)

	P	SP
Acierto a 24 hs	65,4	88,8
Acierto a 48 hs	42,4	73,7
Acierto a 72 hs	19,1	61,7
Tabla 5.35 Porcentaje de aciertos sostenidos		

Casos de aciertos en general (Tabla 5.36)

	P	SP
Acierto a 24 hs	65,4	88,8
Acierto a 48 hs	55,2	80,1
Acierto a 72 hs	32,7	77,9
Tabla 5.36 Porcentaje de aciertos en general		

5.4 Discusión sobre los resultados

Se observa que el modelo funcionó mejor durante el año 2004 a 2006 que en el 2003, debido al cambio del análisis inicial con una resolución mayor (Suaya y Ciappesoni, 2005).

Se calculó el porcentaje, sin discriminación de muestras en días con lluvia y sin lluvia, de casos donde se registró lluvia y el modelo pronosticó lluvia (aciertos con PP), días donde no se registró lluvia y el modelo no pronosticó lluvia (aciertos NP), días donde el modelo dio lluvia y no llovió (falsas alarmas) y días donde el modelo no dio lluvia y llovió (sorpresas), para 24, 48 y 72 horas de pronóstico. Los porcentajes se expresan en Tabla 5.37.

D+1

	Casos	Aciertos PP (%)	Aciertos NP (%)	Falsas Alarmas (%)	Sorpresas (%)	Aciertos	Errores
Salta	1429	18,7	58,3	19,3	3,7	77,0	23,0
Resistencia	1431	18,1	66,1	10,9	5,0	84,2	15,9
Córdoba	1428	13,9	71,6	10,2	4,3	85,6	14,4
Mendoza	1430	6,6	80,5	8,1	4,8	87,1	12,9
Ezeiza	1432	19,9	66,7	7,4	6,0	86,6	13,4
Santa Rosa	1432	11,7	73,7	7,5	7,1	85,4	14,6
Neuquén	1426	7,3	82,4	6,5	3,8	89,7	10,3
Bahía Blanca	1128	16,9	66,1	11,2	5,8	83,1	16,9
Viedma	1433	14,5	71,5	7,2	6,8	86,0	14,0

D+2

	Casos	Aciertos PP (%)	Aciertos NP (%)	Falsas Alarmas (%)	Sorpresas (%)	Aciertos	Errores
Salta	1429	19,7	51,4	26,3	2,5	71,1	28,8
Resistencia	1431	16,1	68,0	9,2	6,6	84,1	15,8
Córdoba	1428	13,1	68,1	13,4	5,3	81,2	18,8
Mendoza	1430	7,8	74,0	14,7	3,4	81,8	18,1
Ezeiza	1432	18,6	63,3	10,5	7,5	81,9	18,0
Santa Rosa	1432	13,2	70,9	10,4	5,4	84,1	15,8
Neuquén	1426	7,3	81,8	6,9	3,9	89,1	10,8
Bahía Blanca	1128	16,3	62,9	14,4	6,5	79,2	20,8
Viedma	1433	14,7	69,8	8,8	6,6	84,5	15,4

D+3

	Casos	Aciertos PP (%)	Aciertos NP (%)	Falsas Alarmas (%)	Sorpresas (%)	Aciertos	Errores
Salta	1429	16,9	48,6	29,3	5,2	65,5	34,5
Resistencia	1431	10,0	62,1	15,3	12,6	72,0	27,9
Córdoba	1428	7,8	63,0	18,7	10,4	70,8	29,1
Mendoza	1430	5,9	72,0	16,6	5,4	77,9	22,0
Ezeiza	1432	11,1	55,8	17,9	15,1	66,9	33,0
Santa Rosa	1432	8,3	66,2	15,3	10,1	74,5	25,4
Neuquén	1426	7,3	81,8	6,9	3,9	89,1	10,8
Bahía Blanca	1128	11,0	57,4	2,0	11,9	68,4	31,6
Viedma	1433	9,8	64,9	13,7	11,4	74,7	25,2

Mejores resultados
Peores resultados

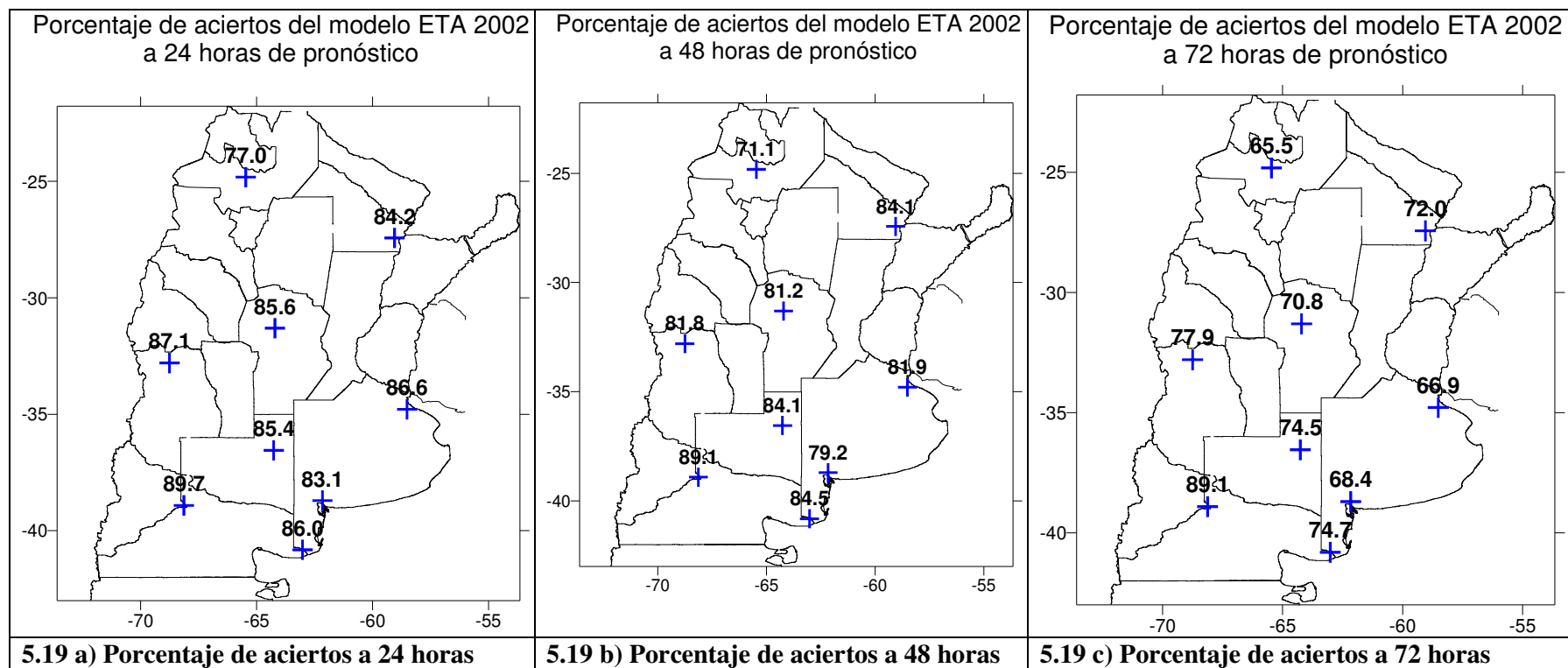
Tabla 5.37 Porcentaje de aciertos y errores para 24,48 y 72 horas

En esta tabla se indicó con amarillo los mejores resultados es decir los máximos porcentajes de acierto y los mínimos porcentajes de falsas alarmas y sorpresas. En fucsia los peores resultados con mínimos porcentajes de aciertos y máximos porcentajes de falsas alarmas y sorpresas.

Del análisis de la tabla surge que la estación que mejor resultado dio el modelo fue Neuquén y que la que peor resultado tuvo fue en Salta.

Cabe destacar que los aciertos están, para las estaciones estudiadas, por encima del 76% para 24 horas de pronóstico, por encima de 71% para 48 horas y mayores a 65% a 72 horas.

Se muestran mapas de aciertos con y sin precipitación del modelo a 24, 48 y 72 horas.



En la Tabla 5.38 se muestran los porcentajes de acierto en el modelo a 24, 48 y 72 hs horas, con y sin precipitación en el pluviómetro, considerando como muestras separadas los días con precipitación y los días sin precipitación.

Aciertos % con (P) y sin (SP) precipitación								
	P				SP			
	24 hs	48 hs	72 hs	Casos CP	24 hs	48 hs	72 hs	Casos SP
Salta	85,8	69,0	54,2	323	73,5	53,7	41,1	1119
Resistencia	78,6	40,2	19,0	336	86,5	75,5	64,1	1255
Córdoba Aero	77,5	50,6	28,4	271	86,5	73,5	62,4	1184
Mendoza Aero	57,7	40,0	21,7	175	86,1	73,1	62,1	1338
Ezeiza	78,0	46,2	24,9	377	88,9	72,4	56,7	1074
Santa Rosa	65,0	38,1	20,4	260	89,6	75,6	65,1	1170
Neuquén	70,8	32,7	14,3	168	90,9	80,7	71,1	1279
Bahía Blanca	75,7	44,0	23,1	325	85,2	66,3	53,3	1138
Viedma	65,4	42,4	19,1	257	88,8	73,7	61,7	1147

Tabla 5.38 Casos de aciertos en días con y sin precipitación

Se observa que el porcentaje de aciertos del modelo es mayor para días sin precipitación que para días con precipitación excepto en Salta donde el porcentaje de acierto es mayor en días con precipitación que en días sin precipitación.

El porcentaje de aciertos decrece, como es de esperarse, cuando aumenta el período de pronóstico. Para el período de 72 horas de pronóstico el porcentaje de acierto para días con precipitación decrece a valores en el intervalo 14,3%-28,4%, excepto para Salta donde se mantiene el porcentaje por encima del 50%.

En la estación Resistencia el porcentaje de acierto decrece mucho para 72 horas de pronóstico. Esto se debe al tipo de precipitación convectiva de la zona y a la variabilidad temporal y espacial de los procesos involucrados en la convección.

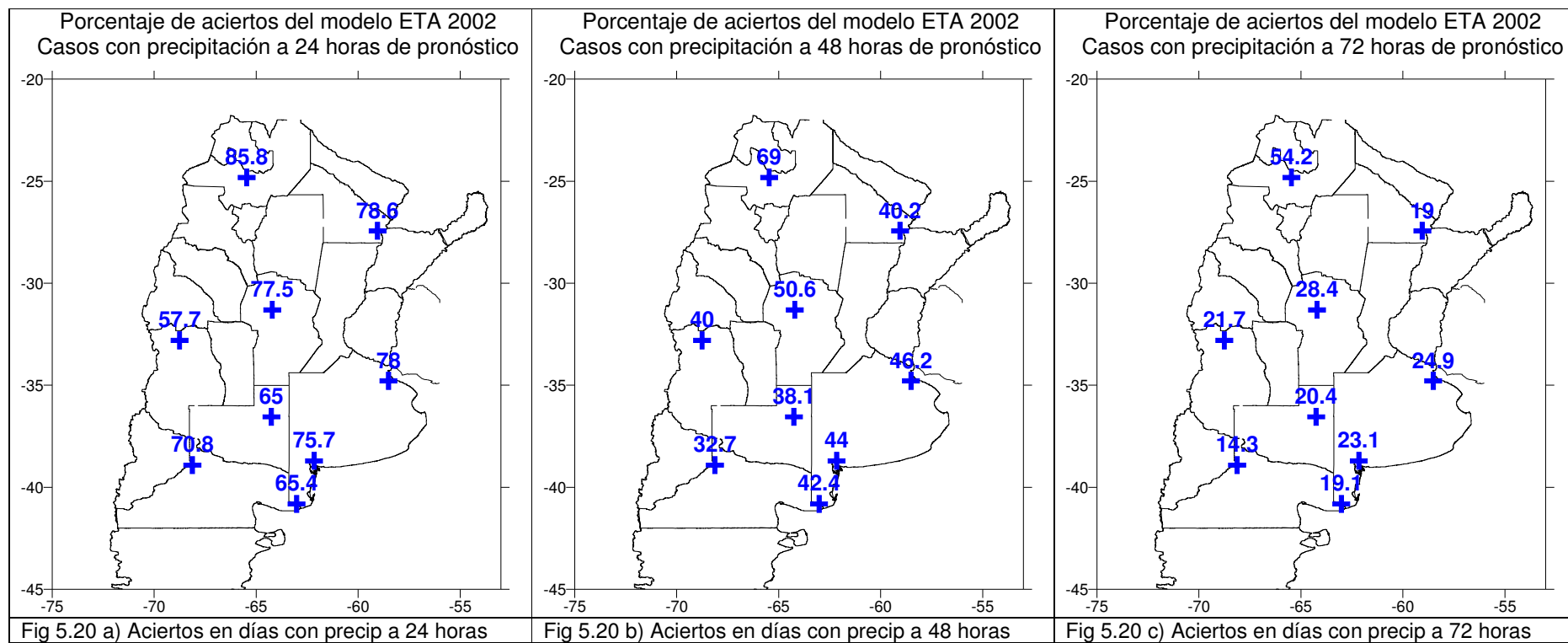
La estación con menor porcentaje de acierto en días con precipitación es Mendoza y le sigue Santa Rosa.

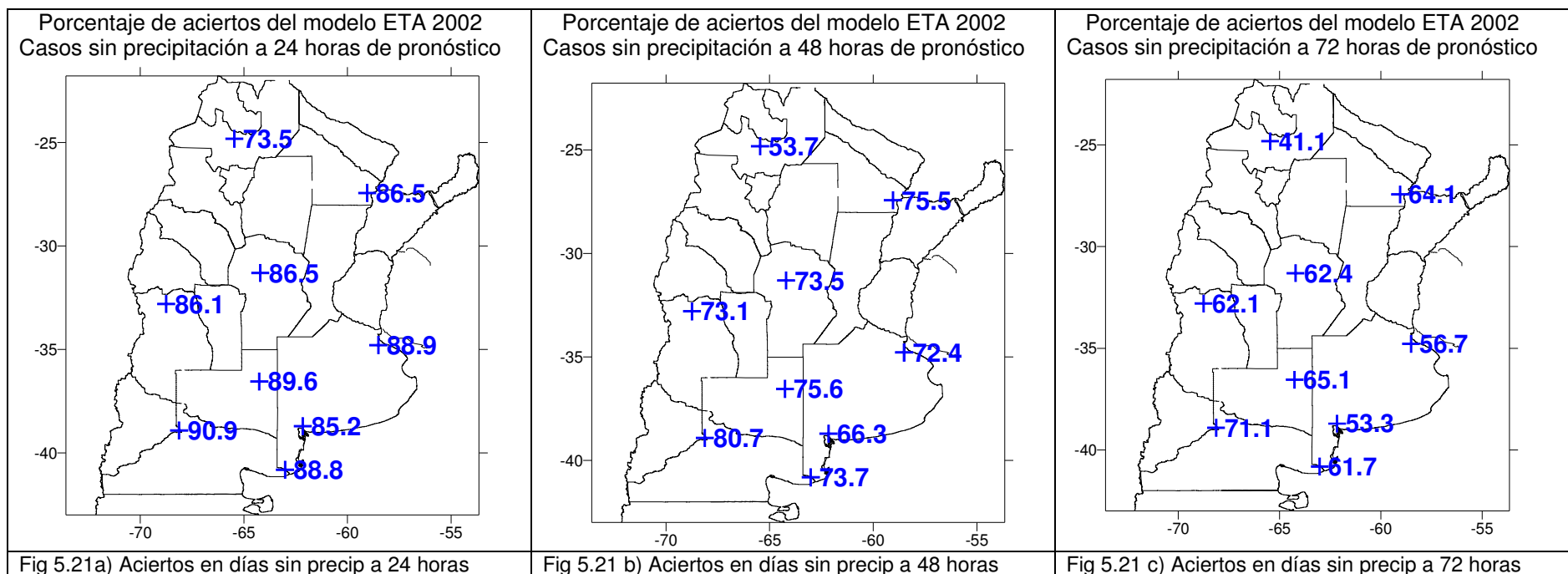
La estación que mejor pronostica el modelo para días sin precipitación es Neuquén.

La estación con mayor porcentaje de acierto en pronóstico de ocurrencia de precipitación a 24,48 y 72 hs es Salta.

Los errores a 48 y 72 horas tienen un máximo en 17,9 mm., menor que a 24 horas.

En las Fig 5.20 y 5.21 se muestran los porcentajes de acierto para las muestras con precipitación y sin precipitación respectivamente, pronóstico a 24 a), 48 b) y 72 c) horas.





En la Tabla 5.39 se incluyen los porcentajes de errores reiterados para las estaciones en conjunto, llamados así los casos en que el pronóstico no dio precipitación en sus pronósticos a 24,48 y 72 horas y el pluviómetro registró lluvia (sorpresas), y por otro lado los casos en que el modelo dio lluvia durante los 3 días de pronóstico y finalmente no llovió (falsa alarma).

Los porcentajes de errores reiterados con precipitación oscilan entre 8% y 24,6%, este último en Mendoza. Los errores reiterados en días sin precipitación oscilan entre 1,3 y 15,7%, este último en Salta.

Puede decirse que el modelo no pronostica bien los días de lluvia para Mendoza.

Estos días de errores reiterados no aportan ninguna probabilidad de precipitación en aquellos productos basados en multi-pronósticos simultáneos.

Porcentaje de errores reiterados (a 24,48 y 72 hs)		
Estación	CP	SP
Salta	8	15,7
Resistencia	11,3	4,3
Córdoba Aero	12,2	4,4
Mendoza Aero	24,6	4,6
Ezeiza	8	3,4
Santa Rosa	19,2	3,2
Neuquén	18,5	1,3
Bahía Blanca	11,7	4
Viedma	18,7	1,7

Tabla 5.39

En la Tabla 5.40 se muestran el número de casos de errores reiterados con sorpresas de precipitación y el número de casos de esos errores que se encuentran en el 5° quintil de la precipitación medida en la estación, para el período 2003-2006. Es decir se buscaron los casos más desfavorables de error de pronóstico.

Estación	N° de sorpresas con errores reiterados	% del total de casos con precipitación	N° de casos en el 5° quintil
Salta	26	8,0	3
Resistencia	38	11,3	1
Córdoba Aero	33	12,2	3
Mendoza Aero	43	24,6	7
Ezeiza	30	8,0	0
Santa Rosa	50	19,2	2
Neuquén	31	18,5	2
Bahía Blanca	38	11,7	1
Viedma	48	18,7	0

Tabla 5.40

Analizando los 19 casos en que se produjeron precipitaciones en el 5° quintil con error reiterado durante tres días se encontró sólo un día de coincidencia.

5.5 Conclusiones

En Salta, en términos generales, el modelo da más precipitación que la medición en el pluviómetro. Pronostica mejor los días de precipitación que los de no precipitación. Los casos de error de pronóstico reiterados, están del orden de 24%, entre falsas alarmas y sorpresas.

No se identifican grandes diferencias en la verificación a 24, 48 o 72 horas.

En Resistencia el modelo da como resultado menor precipitación que la observada. Los casos de errores reiterados en Resistencia se encuentran en el 15,6% de los casos.

El modelo pronosticó mejor los días sin precipitación que con precipitación. El pronóstico baja rápidamente su acierto de precipitación cuando se pasa de 24 horas a 48 y a 72 horas, debido a la naturaleza de la precipitación convectiva en esta zona y a la menor previsibilidad de estos fenómenos y la mayor dificultad de representación de los procesos de nubes convectivas en el modelo.

En Córdoba el modelo da por defecto en los meses de mayores precipitaciones. El mes que menos verificó fue el mes de diciembre.

Las desviaciones estándar de los errores de pronóstico se encuentran entre 6,7mm y 9,8mm para 24 y 72 horas respectivamente.

Los errores reiterados ascienden a 16,6 %.

El modelo pronosticó mejor los días sin precipitación que con precipitación. El pronóstico baja rápidamente su acierto de precipitación cuando se pasa de 24 horas a 48 y a 72 horas.

En Mendoza el modelo, a nivel anual, pronostica a 24 horas menores precipitaciones que las observadas y a 48 y 72 horas en cambio lo hace por exceso. En algunos meses la verificación a 24 hs es del 100% de acierto.

Durante los meses de mayor precipitación el ajuste no es bueno.

La desviación estándar de las diferencias entre pluviómetro y modelo son pequeñas, entre 2,9 mm. a 24 horas y 3,7 mm. a 72 horas.

Los errores reiterados suman el 29,2% de los casos, aunque estos errores son de pocos milímetros.

El modelo, para Mendoza, pronostica mucho mejor los días de no precipitación que los días con precipitación. El acierto de precipitación a 72 horas para días de precipitación es muy bajo.

En Ezeiza el modelo, a nivel anual, pronosticó mejor a 48 y 72 horas que a 24 horas. Nuevamente se presenta el mes de enero de 2005 como un mes con mayor diferencia entre el modelo y la medición.

La desviación estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo toma valores entre 7 mm y 10,4 mm.

Los casos de errores reiterados en Ezeiza ascienden a 11,4% de los casos.

El porcentaje de acierto es muy superior con días sin precipitación que con días con precipitación, especialmente a 48 y 72 horas.

El modelo a nivel anual, en Santa Rosa, pronostica por defecto en todos los períodos de pronóstico, aunque mejora a 48 y 72 horas.

A nivel mensual el mejor ajuste es a 48 horas de pronóstico.

Las desviaciones estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo a 24, 48 y 72 horas tienen valores entre 5,1 mm y 7,2 mm.

Los casos de errores reiterados en Santa Rosa ascienden a 22,4% de los casos.

El porcentaje de aciertos para Santa Rosa baja fuertemente para pronósticos a 48 y 72 horas si se le exige acierto sostenido.

El pronóstico a 72 horas en días con precipitación tiene una baja verificación.

En Neuquén los máximos mensuales de precipitación en 24 horas, durante la mayoría de los meses, superan el total medio mensual.

El modelo, a nivel anual, se comporta cercano a la medición.

La desviación estándar de las diferencias diarias entre pluviómetro y modelo es pequeña y se encuentra entre 2,3 mm y 3,7 mm.

Los casos de errores reiterados ascienden a 19,8%.

El pronóstico de precipitación a 24 horas en Neuquén no es malo, sin embargo a 48 y 72 horas el acierto baja sustancialmente.

El acierto del pronóstico para días sin precipitación es alto.

La estación de Bahía Blanca, por su ubicación, está afectada por diferentes procesos productores de precipitación, es por ello que presenta una variabilidad mensual con varios máximos relativos.

El modelo, en Bahía Blanca, se comporta a nivel anual cercano a la medición, con máximas diferencias en el mes de octubre. El pronóstico fue mejor en los años de menor precipitación.

La desviación estándar de las diferencias va de 5,4 mm a 7,7 mm para pronóstico a 24 horas y 72 horas respectivamente.

El porcentaje de errores reiterados es de 15,7%.

El pronóstico para días sin precipitación es mejor que para días con precipitación, especialmente a 48 y 72 horas. El porcentaje de acierto en este último caso baja significativamente.

El modelo en Viedma, a nivel anual, dio por defecto, especialmente en el año 2004.

Los meses que más difieren son los febreros.

Las desviaciones estándar de las diferencias se encuentran entre 3,6 y 6,1 para 24 y 72 horas de pronóstico respectivamente.

Los errores reiterados fueron el 20,4% de los casos.

Los casos de precipitación tienen un porcentaje bajo de acierto en el pronóstico a 48 y 72 horas.

Los resultados de las verificaciones se deben analizar a la luz de la validez del pronóstico y/o considerando en cada caso lo que significan los porcentajes de acierto con precipitación y sin precipitación relacionado con la cantidad y frecuencia de precipitación del lugar.

Del análisis anterior surge que el modelo dio mejor resultado en la estación Neuquén y el peor resultado fue en Salta.

Cabe destacar que los aciertos superan el 76% para 24 horas de pronóstico, el 71% para 48 horas y el 65% para 72 horas, en general.

Los porcentajes de errores reiterados con precipitación oscilan entre 8% y 24,6%, este último en Mendoza. Los errores reiterados en días sin precipitación oscilan entre 1,3 y 15,7%, este último en Salta.

Puede decirse que el modelo no pronostica bien los días de lluvia para Mendoza.

Estos días de errores reiterados no aportan ninguna probabilidad de precipitación en aquellos productos basados en multi-pronósticos para un día particular.

La cantidad de días donde en alguna de las 11 estaciones consideradas se produjo error reiterado, durante el período estudiado, fue de 285 días en 4 años. La distribución de días de errores reiterados según el mes se encuentra en la de Tabla 5.41. El mes con menos errores reiterados es marzo y el mes con mayor número de días con error reiterado es junio.

Mes	Cantidad de días con alguna estación con errores reiterados
1	22
2	20
3	13
4	25
5	30
6	40
7	31
8	19
9	23
10	23
11	15
12	24

Tabla 5.41

El rango de la precipitación cuando se producen errores reiterados de sorpresas se encontró mayormente entre 4 y 12 mm. Se dieron muy pocos casos de mayor precipitación (Fig. 5.22).

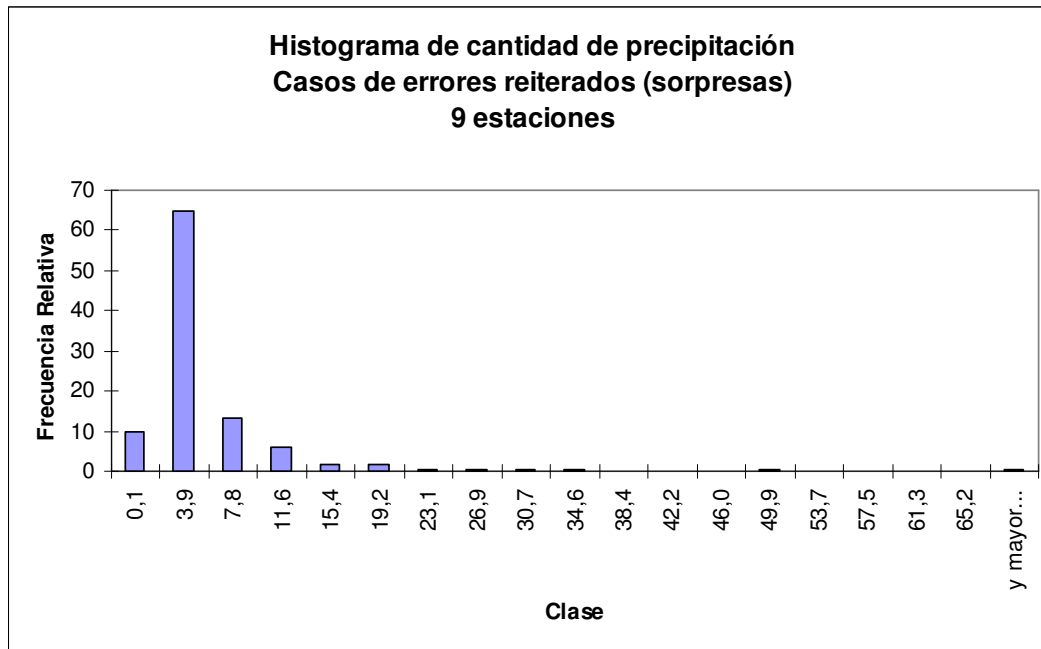


Fig. 5.22 Distribución de frecuencias relativas de precipitaciones en casos de sorpresas con errores reiterados de 3 días

En casos de sorpresas los valores de las precipitaciones que se observan son de escaso valor 5 mm o menos en el 75% de los casos, quedan pocos casos de mayor intensidad. Para el caso inverso de falsas alarmas, en general los valores de intensidad de precipitación que el modelo pronostica son bajos (la mayoría son inferiores a 5 mm). Para los casos en que el modelo acierta el fenómeno la diferencia entre modelo y la precipitación observada es menor a 15 mm.

Capítulo VI: Estudios futuros

Varios son los temas que quedaron sin analizar en profundidad por no ser el objetivo de esta Tesis pero que abren nuevas estrategias de trabajo y/o posibles líneas de investigación a futuro.

Las diferencias del número de tormentas y de la cantidad de precipitación entre Ezeiza, Aeroparque y Buenos Aires es un tema de estudio abierto, posiblemente a través del seguimiento de las tormentas con imagen de radar.

Sería interesante analizar las intensidades horarias de la precipitación en otras estaciones de observación de manera de tener una mejor representación areal y poder analizar los alcances del cambio observado y el aporte que hace a él la circulación general.

Sería útil el estudio de los horarios de las precipitaciones en otros puntos del país.

La verificación del modelo ETA es peor con casos con precipitación que con casos sin precipitación. Sería conveniente probar otro esquema convectivo para mejorar la verificación en algunos lugares. En lugar del esquema de Betts-Miller-Janjic se podría probar con la parametrización de Kain-Fritsch, utilizada por otros autores e incluida en el paquete del modelo.

También sería importante la posibilidad de introducir cambios en las condiciones iniciales y de borde, con análisis propio cuando el modelo global tiene errores.

El estudio de los mecanismos dinámicos y termodinámicos relacionados con la orografía y su relación con la iniciación, desarrollo y evolución de los sistemas convectivos y la distribución espacio-temporal de las tormentas en la región de Mendoza es un capítulo todavía abierto para seguir investigando y para mejorar la verificación de los modelos en esa región.

Sería necesario continuar con la verificación de los pronósticos y con el estudio de casos de sorpresas reiteradas para grandes precipitaciones, que son las más perjudiciales.

Habría que rediseñar en forma más objetiva y completa la forma en que se asigna, en la base de datos de situaciones meteorológicas, un tipo u otro de situación meteorológica diaria, con el fin de capturar todos los tipos de situaciones sinópticas o tiempos significativos, con el fin de que no se pierdan casos que modificarían la estadística o no estarían detectados para futuros estudios.

ANEXO I- RED DE ESTACIONES**ESTACIONES SINÓPTICAS Y DE RADIOSONDEOS (*)**

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (m)
AEROPARQUE BUENOS AIRES	-34,6	-58,4	6
AZUL AERO	-36,8	-59,8	147
BAHIA BLANCA AERO	-38,7	-62,1	83
BARILOCHE AERO	-41,1	-71,1	840
BASE BELGRANO II	-77,8	-34,5	256
BASE ESPERANZA	-63,4	-56,9	24
BASE JUBANY	-62,2	-58,6	11
BASE MARAMBIO	-64,2	-56,7	198
BASE ORCADAS	-60,7	-44,7	12
BASE SAN MARTIN	-68,1	-67,1	7
BENITO JUAREZ AERO	-37,7	-59,7	207
BERNARDO DE IRIGOYEN AERO	-26,2	-53,6	815
BOLIVAR AERO	-36,2	-61	94
BUENOS AIRES	-34,6	-58,5	25
CATAMARCA AERO	-28,6	-65,7	454
CERES AERO	-29,8	-61,9	88
CHAMICAL AERO	-30,3	-66,2	461
CHAPELCO AERO	-40	-71,1	779
CHEPES	-31,3	-66,6	658
CHILECITO AERO	-29,2	-67,4	945
COMODORO RIVADAVIA AERO *	-45,7	-67,5	46
CONCORDIA AERO	-31,3	-58	38
CORDOBA AERO *	-31,3	-64,2	474
CORDOBA OBSERVATORIO	-31,4	-64,1	425
CORONEL SUAREZ AERO	-37,4	-61,8	233
CORRIENTES AERO	-27,4	-58,7	62
CURUZU CUATIA AERO	-29,7	-57,9	73
DOLORES AERO	-36,3	-57,7	9
DON TORCUATO AERO	-34,4	-58,6	4
EL BOLSON AERO	-41,9	-71,5	337
EL CALAFATE AERO	-50,2	-72	204
EL PALOMAR AERO	-34,6	-58,6	12
EL TREBOL	-32,2	-61,6	96
ESC. AVIACION MILITAR AERO	-31,4	-64,2	502
ESQUEL AERO	-42,9	-71,1	797
EZEIZA AERO *	-34,8	-58,5	20
FARO CABO VIRGENES	-52,3	-68,3	24
FARO PUNTA DELGADA	-42,7	-63,6	56
FORMOSA AERO	-26,2	-58,2	60
GENERAL PAZ	-27,7	-57,6	74
GENERAL PICO AERO	-35,7	-63,7	145
GOBERNADOR GREGORES AERO	-48,7	-70,1	358
GUALEGUAYCHU AERO	-33	-58,6	21
IGUAZU AERO	-25,7	-54,4	270
ITUZAINGO	-27,5	-56,6	72
JACHAL	-30,2	-68,7	1175
JUJUY AERO	-24,3	-65	905
JUJUY U N	-24,1	-65,1	1302

JUNIN AERO	-34,5	-60,9	81
LA PLATA AERO	-34,9	-57,9	23
LA QUIACA OBS.	-22,1	-65,6	3459
LA RIOJA AERO	-29,3	-66,8	429
LABOULAYE AERO	-34,1	-63,3	137
LAS FLORES AERO	-36	-59,1	36
LAS LOMITAS	-24,7	-60,5	130
MALARGUE AERO	-35,5	-69,5	1425
MAQUINCHAO	-41,2	-68,7	888
MAR DEL PLATA AERO	-37,9	-57,5	21
MARCOS JUAREZ AERO	-32,7	-62,1	114
MARIANO MORENO AERO	-34,5	-58,8	32
MENDOZA AERO *	-32,8	-68,7	704
MERCEDES AERO (CTES)	-29,2	-58,1	107
MIRAMAR AERO	-38,2	-57,8	37
MONTE CASEROS AERO	-30,2	-57,6	54
MORON AERO	-34,6	-58,6	24
NECOCHEA AERO	-38,4	-58,8	32
NEUQUEN AERO *	-38,9	-68,1	271
NUEVE DE JULIO	-35,4	-60,8	76
OBERA AERO	-27,4	-55,1	303
OLAVARRIA AERO	-36,8	-60,2	166
ORAN AERO	-23,1	-64,3	357
PARANA AERO	-31,7	-60,4	78
PASO DE INDIOS	-43,8	-68,8	460
PASO DE LOS LIBRES AERO	-29,6	-57,1	70
PCIA. ROQUE SAENZ PEÑA AERO	-26,8	-60,4	92
PCIA. ROQUE SAENZ PEÑA AERO	-26,7	-60,4	93
PEHUAJO AERO	-35,8	-61,9	87
PERITO MORENO AERO	-46,5	-71	429
PIGUE AERO	-37,6	-62,3	304
PILAR OBS.	-31,6	-63,8	338
PONTON PRACTICOS RECALADA	-35,1	-56,2	11
POSADAS AERO	-27,3	-55,9	125
PUERTO DESEADO AERO	-47,7	-65,9	80
PUERTO MADRYN AERO	-42,7	-65	136
PUNTA INDIO B.A.	-35,3	-57,2	22
RECONQUISTA AERO	-29,1	-59,7	53
RESISTENCIA AERO *	-27,4	-59	52
RIO COLORADO	-39	-64	79
RIO CUARTO AERO	-33,1	-64,2	421
RIO GALLEGOS AERO	-51,6	-69,2	19
RIO GRANDE B.A.	-53,8	-67,7	22
RIVADAVIA	-24,1	-62,9	205
ROSARIO AERO	-32,9	-60,7	25
SALADILLO (BUE)	-35,6	-59,7	45
SALTA AERO *	-24,8	-65,4	1221
SAN ANTONIO OESTE AERO	-40,7	-65,1	20
SAN CARLOS (MZA)	-33,7	-69	940
SAN FERNANDO	-34,4	-58,5	3
SAN JUAN AERO	-31,5	-68,4	598
SAN JULIAN AERO	-49,3	-67,7	62
SAN LUIS AERO	-33,2	-66,3	713
SAN MARTIN (MZA)	-33	-68,4	653

SAN MIGUEL	-34,5	-58,7	26
SAN RAFAEL AERO	-34,5	-68,4	748
SANTA CRUZ AERO	-50	-68,5	111
SANTA ROSA AERO *	-36,5	-64,2	191
SANTA ROSA DE CONLARA AERO	-32,6	-65,3	620
SANTA TERESITA AERO	-36,5	-56,6	4
SANTIAGO DEL ESTERO AERO	-27,7	-64,3	199
SAUCE VIEJO AERO	-31,7	-60,8	18
TANDIL AERO	-37,2	-59,2	175
TARTAGAL AERO	-22,6	-63,8	450
TINOGASTA	-28	-67,5	1201
TOLHUIN	-54,7	-67,2	105
TRELEW AERO	-43,2	-65,2	43
TRES ARROYOS	-38,3	-60,2	115
TRES ARROYOS PLANEADORES	-38,4	-60,3	122
TUCUMAN AERO	-26,8	-65,1	450
USHUAIA AERO	-54,8	-68,3	57
USPALLATA	-32,6	-69,3	1891
VENADO TUERTO	-33,6	-61,9	112
VIDMA AERO	-40,8	-63	7
VILLA DOLORES AERO	-31,9	-65,1	569
VILLA GESELL AERO	-37,2	-57	9
VILLA MARIA DEL RIO SECO	-29,9	-63,6	341
VILLA REYNOLDS AERO	-33,7	-65,3	486
VILLAGUAY AERO	-31,8	-59	43

ESTACIONES CLIMÁTICAS

Nombre	Latitud	Longitud	Altura
25 DE MAYO (LPA)	-37,7	-67,7	342
ABRA PAMPA INTA	-22,8	-65,8	3484
ANGUIL INTA	-36,5	-63,9	165
BALCARCE INTA	-37,7	-58,3	130
BARROW INTA	-38,3	-60,2	120
BELLA VISTA INTA	-28,4	-58,9	70
BORDENAVE INTA	-37,8	-63	212
CANALS	-33,6	-62,9	116
CARCARAÑA	-32,8	-61,1	79
CASTELAR INTA	-34,6	-58,6	22
CATAMARCA INTA (SUMALAO)	-28,4	-65,7	525
CERRO AZUL INTA	-27,6	-55,4	270
CHACRAS DE CORIA	-32,9	-68,8	921
CIPOLLETTI	-38,9	-67,9	265
CONCEPCION DEL URUGUAY INTA	-32,4	-58,3	25
CORONEL PRINGLES AERO	-38	-61,3	247
CORRIENTES INTA	-27,6	-58,7	57
CUTRAL CO	-38,9	-69,2	650
FAMAILLA INTA	-27	-65,4	363
GENERAL ACHA	-37,3	-64,9	219
GENERAL ROCA AERO	-38,9	-67,6	285
GENERAL VILLEGAS INTA	-34,9	-62,7	117
HILARIO ASCASUBI INTA	-39,3	-62,6	22
LA CONSULTA INTA	-33,7	-69,1	940
LA MARIA INTA	-28	-64,2	169

LA PLATA OBS.	-34,9	-57,9	15
LAPRIDA	-37,5	-60,7	212
LAS BREÑAS INTA	-27	-61,1	102
LOMAS DE ZAMORA U N	-34,8	-58,5	22
LUCAS GONZALEZ	-32,3	-59,5	72
LUIS BELTRAN	-38,8	-65,2	131
MARCOS JUAREZ INTA	-32,6	-62,1	110
MENDOZA OBSERVATORIO	-32,8	-68,8	827
MERCEDES INTA (CTES)	-29,1	-58	100
METAN	-25,4	-64,8	855
NAVARRO	-35	-59,3	32
OLIVEROS INTA	-32,5	-60,8	26
PARANA INTA	-31,8	-60,5	110
PCIA. ROQUE SAENZ PEÑA INTA	-26,8	-60,4	90
PERGAMINO INTA	-33,9	-60,5	65
RAFAELA INTA	-31,1	-61,5	100
RAMA CAIDA INTA	-34,6	-68,3	692
RECONQUISTA INTA	-29,1	-59,7	42
RIO TURBIO AERO	-51,5	-72,2	275
SALTA INTA	-24,9	-65,4	1250
SALTO GRANDE	-31,2	-57,9	37
SAN FRANCISCO UTN	-31,3	-62,1	115
SAN JOSE DE FELICIANO	-30,3	-58,2	66
SAN JUAN INTA	-31,6	-68,5	615
SAN PEDRO INTA	-33,6	-59,6	28
TRELEW INTA	-43,2	-65,3	10
TRENQUE LAUQUEN	-35,9	-62,7	95
VICTORICA	-36,2	-65,4	312
VILLA MARIA	-32,4	-63,2	208
ZAVALLA	-33	-60,8	50

ESTACIONES AUTOMÁTICAS

Nombre	Latitud	Longitud	Altura
PUNTA DE VACAS AUTO	-32,8	-69,7	2400
CORONEL SUAREZ AUTO	-37,4	-61,8	233
RIO COLORADO AUTO	-39	-64	79
TRENQUE LAUQUEN AUTO	-35,9	-62,7	95
NUEVE DE JULIO AUTO	-35,4	-60,8	76
TRES ARROYOS AUTO	-38,3	-60,2	115
LAS FLORES AUTO	-36	-59,1	36
GOBERNADOR GREGORES AUTO	-48,7	-70,1	358
PASO DE INDIOS AUTO	-43,8	-68,8	460
VILLA MARIA DEL RIO SECO AUTO	-29,9	-63,6	341
PERITO MORENO AUTO	-46,5	-71	429
GENERAL ACHA AUTO	-37,4	-64,6	277
RIO TURBIO AUTO	-51,6	-72,1	273
LAS LOMITAS AUTO	-24,7	-60,5	130
SANTA ROSA DE CONLARA AUTO	-32,6	-65,3	615
TUNUYAN AUTO	-33,5	-69	869
JUNIN AUTO	-33,1	-68,4	653
LA LLAVE AUTO	-34,6	-68	539
ISLA MARTIN GARCIA AUTO	-34,1	-58,2	36
PONTON RECALADA AUTO	-35	-55,9	11

LA CIGUEÑA AUTO	-29,2	-61	63
ALEJANDRA AUTO	-29,9	-59,9	32
VILLA CAÑAS AUTO	-33,9	-61,6	100
BANDERA AUTO	-28,9	-62,2	86
VILLA ANGELA AUTO	-27,5	-60,7	78
VILLA ANA AUTO	-28,8	-59,6	51
GIRARDET QUIMILI AUTO	-27,6	-62	153
RAMAYON AUTO	-30,6	-60,5	50
CAMPUS AZUL AUTO	-36,7	-59,8	133
OBRADOR MUNICIPAL AUTO	-36,7	-59,8	132
LA FIRMEZA AUTO	-36,9	-59,9	185
LA CHIQUITA AUTO	-37	-60	193
LA GERMANIA AUTO	-37,1	-60	220
CHILLAR AUTO	-37,2	-59,9	275
CERRO DEL AGUILA AUTO	-37,1	-59,8	320
SIEMPRE AMIGOS AUTO	-37	-59,8	191
SALAR DE CAUCHARI AUTO	-24,1	-67	3722

Anexo II

Controles de consistencia de los datos de mensajes SYNOP.

CONSISTENCIA INTERNA DE DATOS ANTES DEL GRUPO 333

1. Dirección y fuerza del viento, $dd=00 \Leftrightarrow ff=00$

Si la dirección del viento es 0, la intensidad debe ser 0 y viceversa.

2. Dirección y fuerza del viento, $dd=99 \Rightarrow ff \leq 6$

Si la dirección del viento es variable, la intensidad del viento debe ser ≤ 6 Kts.

3. Temperatura y temperatura de rocío, $T \geq T_d$

La temperatura debe ser mayor o igual que la temperatura de rocío.

4. Visibilidad y tiempo presente, $VV < 60$ ó $VV = \{90 \text{ a } 96\} \Rightarrow ww > 3$

Si la visibilidad está reducida, debe haber un fenómeno en tiempo presente que lo justifique.

5. Presión a nivel del mar y presión a nivel de la estación

Si $H_{est} > 800\text{m} \Rightarrow P_{oPoPoPo} < P_{PPP}$

Si la estación informa presión reducida a nivel del mar (por estar a más de 800 m de altura), ésta debe ser mayor que la presión a nivel de la estación.

6. Tendencia barométrica

Si $H_{est} < 800\text{ m}$ y $PPPP(t_o) - PPPP(t_o+3hs) > 0 \Rightarrow a = \{0 \text{ a } 3\}$

Si la altura de la estación es menor de 800 m y la diferencia de presión en una hora t y una hora $t + 3$ horas es mayor que cero, entonces la forma de la tendencia debe ser entre 0 y 3.

7. Tendencia barométrica

Si $H_{est} < 800\text{ m}$ y $PPPP(t_o) - PPPP(t_o+3hs) = 0 \Rightarrow a = 4$

8. Tendencia barométrica

Si $H_{est} < 800\text{ m}$ y $PPPP(t_o) - PPPP(t_o+3hs) < 0 \Rightarrow a = \{5 \text{ a } 8\}$

9. Tendencia barométrica

El valor de la variación de presión de las últimas 3 horas debe coincidir con el signo de la tendencia.

Se permite un error en el Δp en 3 horas en función de la altura de la estación, para alturas entre 0 y 200 m. $\Delta p \leq 0.4$ hPa, de 200 a 600 m. $\Delta p \leq 1.0$ hPa y mayores a 600 m. $\Delta p \leq 1.5$ hPa.

10. Idem 9 para presión a nivel de la estación.

11. Tiempo presente y nubosidad

$ww = 3, \{14 \text{ a } 17\}, \{50 \text{ a } 99\} \Rightarrow N \neq 0$

Los valores anteriores de tiempo presente no pueden producirse con cielo despejado.

12. Tiempo presente y nubosidad

$ww = 43, 45, 47, 49 \Rightarrow N = 9$ y grupo de nubes = 89/// o blanco.

Si el tiempo presente viene con cielo invisible, la cantidad total de cielo cubierto debe ser 9, y el grupo de nubes, si aparece, debe ser 89///.

13. Tiempo presente y visibilidad

$ww = \{ 42 \text{ a } 49 \} \Rightarrow VV < 10 \text{ ó } VV = \{ 90 \text{ a } 93 \}$

Si en el tiempo presente viene informada niebla, la visibilidad debe ser menor a 1 Km.

14. Tiempo presente y temperatura

$ww = 22, 48, 49, 56, 57, \{ 66 \text{ a } 79 \}, \{ 83 \text{ a } 86 \} \Rightarrow TTT < 050$

Si en el tiempo presente viene informado un fenómeno relacionado con temperaturas frías (nieblas, lloviznas, ó lloviznas congelándose, nevadas, etc.) la temperatura debe ser menor a 5 grados.

15. Tiempo pasado y temperatura

$W1 = 7 \text{ ó } W2 = 7 \Rightarrow TTT < 050$

Si hay un pasado con nieve la temperatura debe ser menor a 5 grados en algunas de las horas del período que abarca ese tiempo pasado.

16. Tiempo presente y depresión del punto de rocío.

$ww = \{ 40 \text{ a } 49 \} \Rightarrow T - Td < 45$

Si en el tiempo presente vienen fenómenos relacionados con nieblas la diferencia entre T y Td no debe ser mayor a 4.5 grados.

17. Tiempo presente y viento

$ww = 9, \{ 30 \text{ a } 39 \} \Rightarrow ff > 10$

Si en el tiempo presente vienen fenómenos relacionados con vientos intensos (tempestad, ventisca, torbellino, etc), la intensidad del viento debe ser mayor que 10 Kts.

18. $T - Td = 0$ y $ix = 1 \text{ ó } 4 \Rightarrow ww \neq \{ 5 \text{ a } 9 \}, \{ 30 \text{ a } 35 \}$

Si la diferencia entre la temperatura y la temperatura de rocío es 0 y el tiempo presente viene informado, no debe ser uno de los valores definidos anteriormente.

19. Nubosidad

$N \geq Nh$

La cantidad total de cielo cubierto debe ser mayor o igual a la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias.

20. Nubosidad

$N \geq NI \text{ y } CI \neq 0 \Rightarrow Cm \neq 0 \text{ o } CI \neq 0$

Si la cantidad total de cielo cubierto es mayor a la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias, tiene que haber nubes bajas o nubes medias.

21. Nubosidad

$N \geq NI \text{ y } Cm = 0 \Rightarrow Ch \neq 0$

Si la cantidad total de cielo cubierto es mayor a la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas y no hay nubes medias, tiene que haber nubes altas.

22. Nubosidad

$$Cl = Cm = Ch = "/" \Leftrightarrow N = NI = 9$$

Si en el grupo de nubes los tres tipos vienen informados con barras, la cantidad total de cielo cubierto y la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias debe ser 9 (y viceversa).

23. Nubosidad

$$a) \text{ Grupo nubes} = \text{blanco} \Rightarrow N=0 \text{ ó } N=9$$

Si el grupo de nubes no viene informado, la cantidad total de cielo cubierto debe ser 0 (despejado) ó 9 (cielo invisible).

$$b) \text{ Grupo nubes} = 80000 \Rightarrow N = 0$$

$$c) \text{ Grupo nubes} = 89/// \Rightarrow N = 9$$

24. Nubosidad

$$a) N = 9 \Rightarrow \text{Grupo nubes} = 89/// \text{ ó blanco}$$

Si en la cantidad total de cielo cubierto viene informado cielo invisible, el grupo de nubes debe venir 89/// ó no ser informado.

$$b) N = 0 \Rightarrow \text{Grupo nubes} = 80000 \text{ ó blanco}$$

Si en la cantidad de cielo cubierto viene informado cielo despejado, el grupo de nubes debe venir 80000 ó no ser informado.

25. Nubosidad

$$Cl \neq 0 \Rightarrow Nh \neq 0$$

Si en el tipo de nubes bajas viene informado un número distinto de 0, la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias debe ser distinta de 0.

26. Nubosidad

$$Cm \neq 0 \Rightarrow Nh \neq 0$$

Si en el tipo de nubes medias viene informado un número distinto de 0, la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias debe ser distinta de 0.

27. Nubosidad

$$Cl = Cm = 0 \Rightarrow h = 9$$

Si no se informaron nubes bajas ni medias, el plafond debe ser 9.

28. Nubosidad

$$a.- h = 9 \Rightarrow Cl = "/" \text{ o } Cl = 0 \text{ o grupo 8 no viene.}$$

Si el plafond es 9, no deben venir nubes bajas.

$$b.- Cl \neq "/" \text{ o } Cl \neq 0 \text{ o grupo 8 no viene} \Rightarrow h \neq 9$$

Si vienen nubes bajas, el plafond no puede ser 9.

29. Nubosidad

$$(N = Nh = 0) \text{ ó } (N = 0 \text{ y } Nh = \text{blanco}) \Rightarrow h = 9$$

Si la cantidad total de cielo cubierto y la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias es cero, o la primera es cero y el grupo de nubes no está presente, el plafond debe ser 9.

30. Nubosidad

($N = N_h = 9$) ó ($N = 9$ y $N_h = \text{blanco}$) $\Rightarrow h = "/"$

Si la cantidad total de cielo cubierto y la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias informan cielo invisible, o la primera informa cielo invisible y el grupo de nubes no aparece, el plafond debe ser "/".

31. Nubosidad

$N_h = 0 \Leftrightarrow Cl = Cm = 0$

Si la cantidad de cielo cubierto por nubes bajas o medias es cero, en el tipo de nube baja y tipo de nube media debe venir 0, y viceversa.

32. Indicativo de tiempo presente

$ix = 1$ ó $4 \Rightarrow$ Grupo de tiempo presente \neq blanco

El indicativo de tiempo presente indica que este viene informado.

33. Indicativo de tiempo presente

$ix = 3$ ó $6 \Rightarrow$ plan no horario

Si se informa que el tiempo presente no pudo ser observado, el plan de trabajo de la estación no es horario.

CONSISTENCIA INTERNA DE DATOS DESPUES DEL GRUPO 333**34. Precipitación**

Grupo 6RRR1 puede venir a las 00, 06, 18, y 12 UTC.

El grupo de precipitación acumulada de 6 horas ($tr=1$) viene a las 00, 06, 18 y puede venir en el grupo después del 333 a las 12 UTC.

35. Precipitación

Grupo 6RRR4 viene a las 12 UTC.

El grupo de precipitación acumulada de 24 horas ($tr=4$) viene a las 12 UTC.

33. Temperatura y temperatura máxima

$T_{max} > TT$ de las últimas 12 horas.

La temperatura máxima (informada a las 00 y 12 UTC) debe ser mayor o igual que la temperatura de las últimas 12 hs.

34. Temperatura y temperatura mínima

$T_{min} < TT$ de las últimas 12 horas.

La temperatura mínima (informada a las 00 y 12 UTC) debe ser menor o igual que la temperatura de las últimas 12 hs. y no diferir en más de 2 grados de la mínima horaria

35. Precipitación y tiempo pasado

$6RRR1 \neq \text{blanco} \Leftrightarrow W1 \geq 5$ ó $W2 \geq 5$ ó $ix = \{3 \text{ o } 6\}$

Si aparece informada la precipitación acumulada en 6 hs. (horas 00, 06, 18 y 12) el tiempo pasado debe informar por lo menos llovizna o que no se dispone del dato y viceversa (si hay un pasado que informe precipitación, debe aparecer el dato de precipitación acumulada en 6 hs.

36. Precipitación cada 6 hs y precipitación de 24 hs.

RRR4 \geq RRR1 horas 06, 00 y 18 UTC anteriores

La cantidad de precipitación acumulada en 24 horas (informada a las 12 UTC) debe ser mayor o igual a los tres datos anteriores (06, 00 y 18 UTC) de precipitación acumuladas en 6 hs.

37. Tiempo presente y ceniza volcánica

ww = {4, 6, 7, 8, 9} \Rightarrow 2CvCvCvCv \neq blanco.

Si se informa uno de esos valores de tiempo presente, debe enviarse el grupo de ceniza volcánica. (sección 555 Nacional) 20000 sin ceniza y 29999 con ceniza.

38. Evaporación

Validaciones de la evaporación, 25 mm como cota superior
(leer reglas clave synop sección 555.)

39. Indicador de precipitación

ir = 3 ó ir = "/" \Rightarrow 6RRRtr = blanco

Si se informa que no se registraron precipitaciones o no se dispone del dato, el grupo 6RRRtr debe ser omitido.

40 a. Indicador de precipitación

ir = { 1, 2 ó 0} \Rightarrow 6RRRtr \neq blanco

Debe estar presente el grupo 6RRRtr si el ir así lo indica.

40 b. A las 00, 06 y 18 UTC \Rightarrow tr = 1 obligatorio si ir = {0, 1 ó 2} y a las 12 UTC \Rightarrow tr = 4 obligatorio si ir = {0, 1 ó 2}

Si se informa precipitación a las 00, 06 y 18 UTC es obligatorio enviar el total de las últimas 6 hs.

Si se informa precipitación a las 12 UTC es obligatorio enviar el total de las últimas 24 hs.

41. Precipitación

Si existen datos parciales de precipitación en la hora 12 UTC debe aparecer en las acumuladas de 24 hs (grupo 6RRR4).

42. Precipitación

Si se informan dos grupos de precipitación solo pueden ser iguales si los periodos (tr) son iguales, en caso contrario el de mayor cantidad debe corresponder al mayor periodo.

43. Precipitación y tiempo pasado

Si a 00, 06 ó 18 UTC anteriores $W1 \geq 5$ ó $W2 \geq 5 \Leftrightarrow$ 6RRRtr \neq blanco a las 12 UTC.

Si algún tiempo pasado de las horas 18, 00 y 06 anteriores o el de la hora 12 informa precipitación, el mensaje de las 12 UTC debe contener el grupo de precipitación, y viceversa.

Anexo III: Características que definen los eventos de las situaciones sinópticas o tiempos significativos más importantes en Capítulo II

- **Ola de calor:** ≥ 3 días seguidos con temperaturas máximas entre 29°C y 38°C y temperaturas mínimas mayores de 22°C, extendidas en el país, con humedades relativas entre 60% y 85%.
- **Ola de frío:** ≥ 3 días seguidos con bajas temperaturas, dependiente de las zonas. Temperaturas mínimas menores a 2°C y temperaturas máximas menores a 12°C.
- **Altas temperaturas:** Áreas de temperaturas superiores a los promedios en 4°C ó 5 °C.
- **Irrupción de aire frío:** Descenso brusco de temperatura y superior a lo normal en esa zona.
- **Lluvias intensas:** >30 mm en 6 horas, o se determina por información periodística.
- **Tormentas severas/Tornado:** cuando ocurre granizo y/o se informa 97 o 99 en tiempo presente en el mensaje SYNOP. Cuando se tiene información de los medios de comunicación de la ocurrencia de un tornado.
- **Vientos fuertes:** >60 kt en la Patagonia o > 40 kt en el resto del país.
- **Zonda:** marcada depresión del punto de rocío (aire extremadamente seco) y aumento de temperatura en superficie, en zona a sotavento de la cordillera de los Andes. A criterio del pronosticador, según situación sinóptica.
- **Bloqueos:** En general se informa cuando durante 2 o tres días se mantiene un bloqueo y si se pronostica un mantenimiento de la situación.
- **Ciclogénesis:** Baja que se genera el día que se informa en el reporte. Durante el FGGE se definió como ciclogénesis la primera aparición de una isobara cerrada en superficie en cartas analizadas cada 10 hPa.
- **Inundaciones:** Cuando se tiene información de los medios de comunicación de la ocurrencia de una inundación.
- **Oclusión:** A criterio según análisis y a imágenes satelitales.
- **Sudestada:** Vientos del sudeste >35 km/h, precipitaciones persistentes, débiles o moderadas y temperaturas relativamente bajas.
- **Heladas:** Áreas con temperaturas de superficie (1,50 m del suelo) $\leq 0^\circ\text{C}$.
- **Granizo:** se informa granizo en el tiempo presente de alguna estación.
- **Tormentas:** Se informan tormentas en un área extendida pero sin fenómenos severos, nubosidad media del 7.

ANEXO IV – Definición de índices de inestabilidad y umbrales para actividad convectiva

Se incluyen en este anexo las definiciones de diferentes índices de inestabilidad, una medida de potenciales tormentas y de severidad de las mismas. Se muestran, además, valores umbrales para diferentes intensidades de actividad convectiva.

Índice Showalter (SH)

Este índice es especialmente útil cuando una capa fría poco profunda por debajo de 850 hPa tapa una convección potencial mayor arriba. El potencial de tornado es alto, porque la capa húmeda a menudo se extiende por encima de 850 hPa durante las erupciones violentas (Sturtevant J., 1995).

> 4	Tormentas improbables
1 - 4	Tormentas posibles – necesita fuerte gatillo
1 - -2	Incremento de posibilidad de tormentas
-2 - -3	Muy inestable, alta potencialidad de tormentas intensas
-3 - -5	Se pone temeroso
-5 - -10	Extremadamente inestable
< -10	Resguardarse de la tormenta

Índice Total-Total (TT)

$$TT = T850 + Td850 - 2 * T500$$

Txxx: temperatura en el nivel xxx

Td: temperatura de rocío en el nivel xxx

< 44	Tormentas improbables
44-45	Tormentas aisladas
46-47	Tormentas esparcidas
48-49	Tormentas esparcidas, tormentas severas aisladas
50-51	Pocas tormentas, tormentas severas esparcidas, tornados aislados
52-55	Pocas a numerosas tormentas, pocas tormentas severas a esparcidas, tornados aislados a esparcidos
> 56	Numerosas tormentas, pocas tormentas severas, tornados esparcidos

La definición de los términos de cobertura son los siguientes:

Aislados: se espera condición de ocurrencia en el área, pero se espera que afecte el 10% del área.

Esparcidos: 20-50% del área será afectado por la condición.

Numerosas: más del 70% del área será afectado por la condición.

Las correlaciones del índice TT necesitan ser ajustadas para regiones montañosas.

Valores de TT bajos pueden indicar tormentas severas en regiones de terrenos altos.

El valor se sobreestima con aire frío en capas altas.

Potencial de Bulbo Húmedo (Dθ)

$$D\theta = \theta_{w850} - \theta_{w500}$$

θ_{wxxx} : temperatura potencial de bulbo húmedo en el nivel xxx

Factor K Whiting (K)

$$K = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$$

Mejor uso en períodos con tormentas no frontales.

<20	Tormentas improbables
20-25	Tormentas aisladas
26-30	Tormentas esparcidas
31-35	Pocas tormentas
36-40	Pocas a numerosas tormentas
> 40	100% riesgo de tormentas

Índice Sweat (Severe Weather Threat- Amenaza de tiempo severo).

Mide tormentas potenciales examinando la humedad en niveles bajos, inestabilidad convectiva, máximo del jet y advección caliente (Sturtevant J., 1995).

$$\text{Sweat} = 12 * T_{d850} - 20 * (TT - 49) + 2 * F_{850} + F_{500} + 125 * W_s$$

$$W_s = \sin(\text{dd}500 - \text{dd}850)$$

Con las siguientes restricciones

$$W_s = 0 \quad \text{si} \quad \begin{matrix} 60^\circ < \text{dd}850 < 280^\circ \\ 340^\circ < \text{dd}500 < 220^\circ \end{matrix}$$

F: velocidad del viento en nudos(kt)

dd: dirección del viento

< 272	Tormentas improbables
-------	-----------------------

273-299	Leve riesgo – tormentas generales
300-400	Riesgo moderado -aproximándose a límites de severidad
401-600	Fuerte riesgo- pocas tormentas severas/ tornados aislados
601-800	Alto riesgo de tormentas severas /tornados esparcidos
801+	Daños por vientos fuertes, pero no favorable para tiempo severo

Lifted Index(LI)

Es una medida de potencialidad de tormenta severa que toma en cuenta la disponibilidad de humedad en niveles bajos (Sturtevant J., 1995).

$$Li = T500- TP500$$

TP: temperatura de la parcela

> 0	Tormentas improbables
0 - -2	Tormentas posibles – necesita buen gatillo
-3 - -5	Tormentas probables
<-5	Tormentas fuertes/severas. Posibles tornados

Valores umbrales para diferentes muestras según L. Rosso et al. (1989)

Los índices termodinámicos son significativos para el pronóstico de tormentas. En las épocas más frías la influencia de la escala sinóptica es mayor que el desarrollo de la actividad convectiva.

Los índices Dθ, SH y LI son los mejores predictores de eventos convectivos, aunque el índice K es más apto (Moyano, M. C. et al., 1972) para el período diciembre-febrero, aunque este índice fue elaborado para tormentas de masa de aire y da mayor valor cuando más espesor tiene la capa húmeda en altura, condición no necesaria y que puede ser desfavorable para el desarrollo de convección severa (David, Smith, 1971).

Valores umbrales para las frecuencias relativas de actividad convectiva para la muestra anual:

Índice	K	Sweat	LI	SH	Dθ	TT
Valor	≥36	≥250	≤-1	≤0	≥4	≥50
f%	73	65	63	60	59	48

Valores umbrales para las frecuencias relativas de actividad convectiva para la muestra de diciembre a febrero:

Índice	K	Sweat	LI	SH	Dθ	TT
Valor	≥32	≥200	≤-1	≤0	≥4	≥46
f%	67	70	54	59	60	58

Valores umbrales para las frecuencias relativas de actividad convectiva para la muestra de octubre a marzo:

Índice	K	Sweat	LI	SH	Dθ	TT
Valor	≥32	≥150	≤-1	≤0	≥4	≥50
f%	64	67	63	61	61	61

Valores umbrales para las frecuencias relativas de actividad convectiva para la muestra de abril a septiembre:

Índice	K	Sweat	LI	SH	Dθ	TT
Valor	≥32	≥150	≤3	≤1	≥4	≥46
f%	39	38	25	41	50	25

ANEXO V – Consideraciones para la digitalización de fajas pluviográficas Pluviógrafos a sifón

Se realizó el análisis de un sistema de digitalización de fajas de pluviógrafos tipo Casella.

Los programas de digitalización se ajustan de acuerdo a las características de las fajas, color, tipo de trazo, tamaño, etc.

Se toman las siguientes consideraciones:

a) Si la pluma baja antes de llegar a los 10 mm, se toma como buena la marca de mayor a 9 mm.

b) Si la pluma cuando baja no llega a cero, se toma como buena la marca menor a 1 mm.

c) Si la faja está mal colocada y comienza a marcar por debajo de la línea del cero o por arriba de la misma, se toma el inicio del registro el primero en el cual apoya la pluma.

d) Si la pluma demora en caer a cero una vez alcanzados un múltiplo de 10 mm., se toman como máximo 15 minutos, si tarda más se considera inválida la faja.

e) Cuando la lluvia es muy intensa y no se reconocen las líneas de bajada, en cada caso se ve si son procesables.

f) La faja tiene más de una trazo en la misma faja.

1) Si una de las líneas es el cero se ignora y se analiza el resto.

2) Si aparece una línea horizontal que cruza toda la faja a la misma altura en la cual termina uno de los trazos, se supone que llovió el primer día y luego no volvió a llover pero la faja no fue sacada.

3) No se cumplen ninguno de los dos casos anteriores.

g) Si el observador no vacía el sifón cuando cambia de faja, se considera allí como si fuera cero.

h) El observador pone la faja en otro horario que no es 12 GMT. Si no hay una aclaración precisa y explícita indicando la anomalía y el período exacto se considerará que fue puesta a las 12 GMT.

i) El papel sufre modificaciones según la temperatura y humedad, lo que modifica el tamaño de la faja. Se considera una cierta medida dada por la especificación del instrumento.

j) El trazo de tinta contiene arrastre de papel de la pluma con tonos iguales a la cuadrícula y confunde la lectura.

k) La pluma del pluviógrafo no es la original y ello trae aparejado manchas de tinta en las fajas. Se filtra en la interpretación.

l) Las fajas están sucias y ello trae aparejado una mal interpretación.

Referencias

1. Agosta, E., R. Compagnucci y W.M. Vargas (2001), Características diferenciales en la circulación atmosférica de capas bajas para los eventos estivales, secos y húmedos sobre la región centro-oeste de Argentina en relación al cambio de 1977, Resúmenes extendidos de CLIMET IX- CONGREGMET VIII, Buenos Aires.
2. Agosta, E. R. (2006), Precipitación de verano en el Centro-oeste de Argentina y procesos atmosféricos/oceánicos de escala regional y global, Tesis Doctoral, UBA.
3. Aceituno P. (1988), On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface climate. Mon. Wea. Rev., 116, 505-524.
4. Alessandro, P. (2003), Blocking action situations in the south of South America during 1990's. Meteorológica, Vol 28, N^{os} 1 y 2.
5. Alessandro, P. (2005), Acciones bloqueantes alrededor de los setenta grados oeste en el sur de Sudamérica, Meteorológica, Vol. 30, N° 1 y 2, 3-25.
6. Alexander L., X. Zhang, T. Peterson, J. Caecar, B. Gleason, A. Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. Vazquez Aguirre (2006), Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research, Vol III.
7. Almeida, G., B. Scian, H. Ciappesoni (2005), Algunos predictores de las anomalías de precipitación en el litoral argentino, Resúmenes extendidos del Congregmet IX, Buenos Aires.
8. Almeida, G. (2005), Algunos índices atmosféricos y oceánicos como predictores de la precipitación estacional en la región del Litoral argentino, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
9. Austin, K. y R. Houze (1972), Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, Journal of Applied Meteorology, 11.
10. Barros V., M. Castañeda y M. Doyle (2000), Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability Southern Hemisphere Paleo and Neo-Climates, P. P. Smolka and W. Volkheimer, Eds. Springer-Verlag, 187-206.
11. Barros V. y G. Silvestri (2001), La temperatura de la superficie del mar en la región subtropical del Pacífico sur y la precipitación en el sudeste de Sudamérica, IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología- VIII

- Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires, Argentina, Centro Argentino de Meteorólogos y Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. CD-ROM.
12. Barros, V., L. Chamorro, G. Coronel and J. Baez (2004): The major discharge events in the Paraguay River: magnitudes, source regions and climate forcings. *J. Hydrometeorology*, 5, 1161-1170.
 13. Barrera, D. (1988), Análisis climático-estadístico de las estructuras temporales y espaciales de la precipitación diaria en meso-escala. Aplicación al filtrado y corrección de errores de observación, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
 14. Barrucand, M. y M. Rusticucci (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Variabilidad temporal y regional. *Meteorológica*, Vol. 26 N° 1 y 2, 85-102.
 15. Berbery, E. y C. Vera (1996), Characteristics of the Southern Hemisphere winter storms tracks with filtered and unfiltered data, *J. Atmos. Sci.*, 53, 468-481.
 16. Berman, A. L. (2007), Climatología de índices de inestabilidad, Showalter, Lifted, y K de Whiting, en la tropósfera de Ezeiza, relación con el tiempo presente y campos de circulación, Tesis de Licenciatura, Departamento Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires.
 17. Berri G., M.A.Ghietto and N.O. Garcia (2002), The influence of ENSO in the flows of the Upper Parana River of South America over the past 100 years, *Journal of Hydrometeorology*, Vol 3, 57-65.
 18. Bischoff, S. y A. Berman (2005), Sudestadas en el Río de la Plata asociadas a precipitación en la ciudad de Buenos Aires, Resúmenes extendidos del Congremet IX, Buenos Aires.
 19. Black, T. (1994): The New NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples. *Weather and Forecasting*, NMC Notes, NWS/NOAA, 265-278.
 20. Camilloni, I. (1995), La influencia de la isla de calor en las tendencias seculares de la temperatura media anual en la Argentina subtropical, Tesis Doctoral, UBA.
 21. Camilloni, I., V. Barros, G. Escobar y A. Di Luca (2005) Tendencias en la posición del anticiclón del Atlántico Sur y su representación por modelos climáticos globales: Impactos sobre el estuario del Río de la Plata y océano adyacente, Resúmenes extendidos del Congremet IX, Buenos Aires.
 22. Carvalho L., C. Jones y B. Liebmann (2002), Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone, *J. Climate*, 15, 2377-2394.

23. Carvalho L., C. Jones, y B. Liebmann (2004), The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence and relationship with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J. Climate*, 17, 88-108.
24. Castañeda M. y V. Barros (1994), Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes, *Meteorológica* 19, N°s 1 y 2, pp. 23-32.
25. Castañeda, E. y V. Barros (2001), Tendencias de la precipitación en el oeste de la Argentina, *Meteorológica*, Vol. 26, N° 1 y 2, 5-23.
26. Chung Y. (1977): On the orographic influence and lee cyclogenesis in the Andes, the Rockies and the East Asian mountains, *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A.*, 26.
27. Ciappesoni H. H. y R. Valdivieso (2005), Verificación de los pronósticos públicos y del modelo ETA/SMN del Servicio Meteorológico Nacional Argentino durante los años 2003 y 2004. Resúmenes extendidos del Congremet IX, Buenos Aires.
28. Compagnucci, R. y W. M. Vargas (1998), Inter-annual variability of the Cuyo rivers' streamflow in the Argentinean Andean mountains and ENSO events, *Int. J. Climatology*, 18, 1593-1609.
29. Compagnucci, R. y E. Agosta (2006), La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanuales El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) e interdecádico "tipo" ENOS, *Geoacta*.
30. Coronel, A. (2001), Climatología sinóptica de las masas de aire que afectan a la República Argentina, Tesis Doctoral, UBA.
31. David, C.L., J. S. Smith (1971). An evaluation of seven stability index as predictors of severe thunderstorms and tornadoes. Seventh Conference on Severe Local Storms, USA.
32. Dessens, H. (1960), Severe hailstorms are associated with very strong winds between 6000 and 12000 m. *Physics of Precipitations*, Amer. Geophys. Union, Washington D.C., 33-336.
33. Doyle M. y V. Barros (2002), Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in, South Atlantic, *J. Climate* 15, 3394-3410.
34. Escobar, G. y S. Bischoff (2001), Criterio de detección de irrupciones de aire frío en la región central de Argentina a partir de descensos interdiurnos de temperatura, *Meteorológica*, Vol. 26, N° 1 y 2, 57-68.

35. Escobar, G., I. Camilioni y V. Barros (2003): Desplazamiento del Anticiclón subtropical del Atlántico Sur y su relación con el cambio de vientos sobre el estuario del Río de la Plata. Anales del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. La Habana, Cuba.
36. Estudio de Lluvias intensas en la República Argentina (1974), Subsecretaría de Recursos Hídricos. INCYTH- FCEyN - Departamento de Meteorología-.
37. Figueroa, S. N., P. Satyamurty y P.L. Silva Dias, (1995), Simulation of the summer circulation over the South American region with the eta coordinate model, J. Atmos. Sci, 52, 1573-1584.
38. Gan, M.A. y V. B. Rao, (1991), Surface cyclogenesis over South America. Mon.Wea.Rev. 119(5), 1293-1302.
39. García, N. O. y W. M. Vargas (1996), The spatial variability of runoff and precipitation in the Río de la Plata basin, Hydrological Sciences, Journal des Sciences.
40. Grimm A. y I. Pscheidt (2001), Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña and años neutros. Resúmenes extendidos IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología- VIII Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires, Argentina, Centro Argentino de Meteorólogos y Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. CD-ROM.
41. Groisman, P. Y., R. W. Knight, D.E. Easterling, T. D. Karl, G. C. Hegerl y V. N. Razuvaev (2005), Trends in intensive precipitation in the climate record, J. Climate, 18, 1326-1350.
42. Haylock M., T. C. Peterson, L. M. Alves, T. Ambrizzi, Y. M. T. Anunciação, J. Baez, V. R. Barros, M. A. Berlato, M. Bidegain, G. Coronel, V. Corradi, V. J. Garcia, A. M. Grimm, D. Karoly, J. A. Marengo, **M. B. Marino**, D. F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J. L. Santos, I. Trebejo, and L. A. Vincent, (2006): Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, 19, 1490-1512.
43. Hoffmann, J. (1970, a)) La distancia crítica para la interpolación de datos y la reducción de las estadísticas de precipitación al mismo período de la República Argentina. Meteorológica, Vol 1, N° 2.
44. Hoffmann, J. (1970, b)) Características de las series de precipitaciones en la República Argentina. Meteorológica, Vol 1, N° 3.
45. Hoffmann, J (1987), Fluctuaciones de la precipitación en la Argentina, en lo que va del siglo. II Congreso Interamericano de Meteorología, Buenos Aires, Argentina.

46. House, R., P. Hobbs, K. Biswas y W. Davis (1976), Mesoscale rainbands in extratropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, 104.
47. IPCC long-term projection of extreme storms- WMO – World Climate News- June 2007.
48. Iribarne, J. (1964) *Termodinámica de la Atmósfera*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
49. Kalnay, E. K. C. y J. Paegle (1986), Large-amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: Observation and mechanistic experiments to determine their origin, *J. Atmos. Sci.*, 43, 252-275.
50. Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, D. Joseph (1996), The NCEP/NCAR 40- year re-analysis Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.
51. Karoly D. J. y D. G. Vincent (1998), *Meteorology of the Southern Hemisphere*, AMS.
52. Kayano, M. T. y V. E. Kousky (1992), Sobre o monitoramento das oscilacoes intrazonais, *Rev. Brasil. Meteorol.*, 7, 593-602.
53. Kendall M. (1938), A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30, 81-93.
54. Kousky V., M. Rayano and I. Cavalcanti (1984), A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation change and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.
55. Kousky V. y Gan M. (1981), Upper tropospheric cyclone vortices in the Tropical South Atlantic, *Tellus*, 33, 538-551,.
56. Lichtenstein, E. y M. L. Altinger (1970), Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de líneas de inestabilidad. *Meteorológica*. Vol. 1, N° 2.
57. Lichtenstein, E. y M. L. A. Schwarzkopf (1970), Aspectos estadísticos de las líneas de inestabilidad en la Argentina, *Meteorológica*. Vol. 1, N° 1.
58. Liebmann B., C. Vera, L. Carvalho, I. Camilloni, M. Hoerling, V. Barros, J. Báez y M. Bidegain (2004), An observed trend in central South American precipitation. *J. Climate*, 17, 4357-4367.
59. Minetti, J. y W. Vargas (1983), el enfriamiento de la década de 1950 en la República Argentina, *Meteorológica*, Vol XIV, N°s 1 y 2, pp. 175-188.

60. Minetti J. (1998), Trenes and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 degrees S. *Atmosfera*, 11, 205-211.
61. Minetti J., W. Vargas, A. Pobrete, L. Acuña y G. Casagrande (2003), Non-linear trends and low frequency oscillation in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999, *Atmosfera*, 16, 119-135.
62. Moyano, M. C., V. Blanco, E. Cassinelli (1972), Análisis comparativo de índices de inestabilidad como predictores de fenómenos convectivos. *Meteorológica Vol III*, N° 1,2 y 3.
63. Moyano, C. y L. Medina (1974), Estudio piloto de lluvias intensas en la República Argentina, Subsecretaría de Recursos Hídricos-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, publicación interna.
64. Moyano, M. C., N. García, G. Almeida y M. Dente (1991), Congremet VI, Buenos Aires, Argentina, pp. 97-98.
65. Necco, G. (1982) a): Comportamiento de vórtices ciclónicos en el área sudamericana durante el FGGE: Ciclogénesis. *Meteorológica*, Vol. XIII, N° 1, 7-19.
66. Necco, G. (1982) b): Comportamiento de vórtices ciclónicos en el área sudamericana durante el FGGE: Trayectorias y desarrollos. *Meteorológica*, Vol. XIII, N° 1, 21-34.
67. Nicolini, M. J. Paegle, M. L. Altinger (1987): Numerical simulation of convection and boundary layer convergence. Preprints, Second Int. Congress of Meteorology
68. Nicolini M., A. C. Saulo, J. Torres y P. Salio (2002), Enhanced precipitation over southeastern South America related to strong low-level jet events during Austral warm season. *Meteorológica*, Vol. 27, N°s 1 y 2.
69. Nicolini, N., M. Torres Brizuela, Y. García Skabar (2005): Simulación de una tormenta tornádica usando un modelo de mesoescala de alta resolución, Resúmenes extendidos del Congremet IX. Bs. As.
70. Norte, F. (1988), Características climatológicas del viento Zonda en la Región de Cuyo, Tesis Doctoral, FCEyN, UBA.
71. Nuñez, M. y M. Nicolini (1981), Sobre un análisis de escala sobre la convección atmosférica, incluyendo los efectos de la turbulencia, *Meteorológica*, Vol XII, N° 2, 87-104.
72. Nuñez, M., H. Ciappesoni, A. Rolla, E. Kalnay y M. Cai (2007), Impact of urbanization and land use changes in Argentina, en impresión.
73. Orlanski, I. (1975), A rational subdivision of scales for atmospheric processes, *Bulletin American Meteorological Society*, 52.

74. Orlanski, I, J. Katzfey, **M. Marino**; H.Ciappesoni (1987): Simulación de una Ciclogénesis Austral. Resúmenes extendidos II Congreso Interamericano de Meteorología. Bs.As. Argentina.
75. Orlanski, I., J. Katzfey, C. Menéndez, **M. Marino** (1991): Simulation of an extratropical cyclon in the Southern Hemisphere: model sensitivity, I., Journal of Atmospheric Science, 48, 2293-2311.
76. Paegle, J., C.D. Zhang y D.B. Baumhefner (1987), Atmospheric response to tropical thermal forcing in real data integrations, Mon. Wea. Rev., 115, 2975-2995.
77. Paegle, J. (1987)
78. Penalba, O. y W. Vargas (2001), Propiedades de precipitaciones extremas en zonas agropecuarias argentinas, Meteorológica, Vol. 26, N° 1 y 2, 39-55.
79. Possia, N.(2004) Estudio de lo ciclones explosivos sobre la región sur de Sudamérica- UBA- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.
80. Rivero O. y S. Bischoff (1971): Ciclogénesis, movimiento y distribución de depresiones en los océanos Atlántico y Pacífico durante el período abril 1967-marzo 1968, Meteorológica, II, 476-523.
81. Rogers J. (1988), Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with Southern Oscillation, J. Climate, 1, 172-182.
82. Ropelewski C. y M. Halpert (1987), Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev., 115, 1606-1626.
83. Ropelewski C. And M. Halpert (1996): Quantifying SOUTHERN Oscillation-precipitation relationships. J. Climate, 9, 1043-1059.
84. Rosso L., Quinteros C. Y., de Candurra R. y de Lázaro S. Q. (1987), Índices de inestabilidad como predictores de precipitación. Resúmenes del V Congreso Interamericano de Meteorología.
85. Rosso, L., **M. Marino**, I. Barnatán, J. Ares y A. Belohlawek (2005), Metodología para la confección de estadísticas 1991-2000, Resúmenes extendidos del IX Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires.
86. Rusticucci, M. y W. Vargas (1995), Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. Meteorol Appl., 2, 291-300.
87. Rusticucci M. y O. Penalba (2000), Interdecadals changes in the precipitation seasonal cycle over southern South America and their relationship with surface temperature. Climate Res., 16, 1-15.

88. Rusticucci, M. y M. Barrucand (2001) Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. Vol. 26 N° 1 y 2, 69-83.
89. Salio, P. y M. Nicolini (2005), Ciclo diario de la convección asociado a diferentes condiciones de corriente en chorro en capas bajas.
90. Saluzzi y otros (1995)
91. Sarochar, Rubén H., Nora E. Ruiz y Héctor H. Ciappesoni (2005) Precipitaciones convectivas y estratiformes en la Pampa Húmeda, Meteorológica, Vol. 30, N° 1 y 2, 77-89.
92. Sarochar, R. H. (2003), Análisis y Diferenciación de la Precipitación de Origen Convectivo de la de Origen Estratiforme en la Pampa Húmeda Entre los Años 1995 y 2001, Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera, Dpto. Ciencias de la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires.
93. Satyamurty, P., C. Nobre y P. Silva Dias (1998), Cap. 3C, South America, Meteorology of the Southern Hemisphere, AMS.
94. Saulo, C., M. Seluchi, C. Campetella and L. Ferreira (2001): Error evaluation of NCEP and LAHM Regional Model Daily Forecasts over Southern South America, Weather and Forecasting, AMS.
95. Saulo A. y L. Ferreira (2003), Evaluation of quantitative precipitation forecast over southern South America, Aust. Met. Mag. 52, 81-93.
96. Scian, B. (1999), Variabilidad interanual de la precipitación en la pradera pampeana y su relación con algunos índices de circulación atmosférica, Tesis doctoral, UBA.
97. Scian, B. (2001), Fases del SOI y su relación con los corrimientos de la mediana de precipitación mensual en la Pampa argentina, Resúmenes extendidos CLIMET IX/ CONGREGMET VIII, Buenos Aires.
98. Seluchi, M. y S. Chou (2000). Ajuste del esquema convectivo de Betts-Miller en el modelo regional ETA/CPTEC. Meteorológica, Vol 25, N°s 1 y 2.
99. Schwerdtfeger, W. y C. Vasino (1954), La variación secular de las precipitaciones en el Este y Centro de la República Argentina, Meteoros, Año IV, N° 3, pp.174-193.
100. Scian, B. (1970): Situación Sinóptica asociada a las temperaturas extremas en junio de 1967. Meteorológica Vol I, N° 1.

101. Silva A. y Salaberri, G (2005): Situación de tiempo severo del 11 y 12 de noviembre de 2003 sobre Uruguay. Resúmenes extendidos del Congremet IX, 2005.
102. SMN (1984): Olas de calor. Boletín informativo N° 6.
103. Stretten N. y A. Troup (1973): A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere, Quart. J. Roy. Met. Soc., 99.
104. Sturtevant, John S. (1995). The Severe Local Storm Forecasting Primer, 197 pp. The Ohio State University Atmospheric Sciences Program
105. Suaya, S. y H. H. Ciappesoni (2005): Skill del Modelo ETA SMN durante 2003-2004, Resúmenes extendidos del Congremet IX, Buenos Aires.
106. Tanaka M. y T. Nishizawa (1983), Interannual fluctuations of the troposphere circulation and the rainfall in South America, Latin American Studies, 6, 45-61.
107. Torres, J. C. y M. Nicolini (1999), Impacto de la incertidumbre en las condiciones iniciales y de borde en la simulación de un mesosistema convectivo sobre el Río de la Plata, Meteorológica, Vol. 24, N°s 1 y 2.
108. Vargas, W. M., Olga C. Penalbal, y Juan L. Minetti. (1999), Las precipitaciones mensuales en zonas de la Argentina y el ENOS. Un enfoque hacia problemas de decisión, Meteorológica, Vol. 24, N°s 1 y 2.
109. Vargas, W. M., S. Bischoff y E. Marcuzzi (2001), Diagnóstico conjunto de propiedades de los caudales y sus extremos en los ríos Paraná y Uruguay, Resúmenes extendidos del Congremet IX, 2005.
110. Velasco, I. y J. M. Fritsch (1987): Mesoscale convective complexes in the Americas. J. Geophys. Res., 92, D8, 9591-9613.
111. Vera C. S., P. Vigliarolo y E. Berbery (2001), Cold season synoptic-scale waves over subtropical South America, Monthly Weather Review, AMS.
112. Vera, C., Baez M, Douglas M, Emmanuel M, Marengo J, Meitin J, Nicolini M, Nogues-Paegle J, Paegle J, Penalba O, Salio P, Saulo C, Silva Dias M, Silva Dias P, Zipser E (2006), South American Low-Level Jet Experiment, Bulletin of AMS, 87.
113. Vila, Daniel (2005), Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala, sobre Sudamérica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
114. Wilks D. (1995) Statistical methods in atmospheric science - An Introduction, Academic Press, International Geophysics Series, Vol 59.

115. World Meteorological Organization and Federal Hydrometeorological Institute, Belgradde, Yugoslavia (1998), Scientific Documentation of the ETA Model.

ABREVIATURAS

AVN/ GFS: Aviation of Global Forecast System

CIMA: Centro de Investigación del Mar y de la Atmósfera

CLIVAR/ETCCDMI: Climate Variability and Predictability Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices

GFS: Global Forecast System

HOA: Hora Oficial Argentina

IPCC: International Programme of Climate Change

ITCZ: Inter tropical convergence zone

LAHM: Limited Area Hibu Model

MCC : Mesoscale convective complex

MCS: Mesoscale convective system

MRF: Medium-Range Forecast

NCEP: National Center for Environmental Prediction

OS: Oscilación del Sur.

SACZ: South Atlantic Convergence Zone

SALLJ: South America Low Level Jet

SALLJEX: South America Low Level Jet Experiment

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

SYNOP: Informe sobre una observación de superficie proveniente de una estación terrestre

SOM: Sistema de Observación Meteorológica

UTC: Universal Time - Tiempo Universal Coordinado

WCRP: World Climate Research Programme

WMOCCI: World Meteorological Organization Commission of Climatology

UNIDADES

°C: grado Celsius

hPa: hectopascal

km/h: kilómetro por hora

m: metro

kt: nudo

mm: milímetro

mgp: metro geopotencial